

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Eduardo de Oliveira Alixandrino; Lara Coelho Lacerda

**ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LATICÍNIOS DO INSTITUTO
FEDERAL DE MINAS GERAIS - *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA**

São João Evangelista
2021

EDUARDO DE OLIVEIRA ALIXANDRINO; LARA COELHO LACERDA

**ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LATICÍNIOS DO INSTITUTO
FEDERAL DE MINAS GERAIS - *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso Bacharelado em
Sistemas de Informação do Instituto
Federal de Minas Gerais - *Campus* São
João Evangelista para obtenção do grau
de bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Dr. Wesley Gomes de
Almeida
Coorientador: Prof. Me. André Luyde da
Silva Souza

FICHA CATALOGRÁFICA

L131e Lacerda, Lara Coelho; Alixandrino, Eduardo de Oliveira.

Estudo de otimização da produção de laticínios do Instituto Federal de Minas Gerais *campus* São João Evangelista [manuscrito] / Lara Coelho Lacerda; Eduardo de Oliveira Alixandrino. – 2021.

53f.: il.

Orientador: Wesley Gomes de Almeida.
Coorientador: André Luyde da Silva Souza.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, 2021.

1. Laticínio. 2. Otimização. 3. Produção. 4. Solver. I. Lacerda, Lara Coelho; II. Alixandrino, Eduardo de Oliveira. III. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* SJE. IV. Título.

CDD 637.1

Catálogo: Rejane Valéria Santos – CRB-6/2907

Eduardo de Oliveira Alixandrino; Lara Coelho Lacerda

**ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LATICÍNIOS DO INSTITUTO
FEDERAL DE MINAS GERAIS - *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso Bacharelado em
Sistemas de Informação do Instituto
Federal de Minas Gerais - *Campus* São
João Evangelista para obtenção do grau
de bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovado em: 05 /03 /2021 pela banca examinadora:



Prof. Dr. Wesley Gomes de Almeida – IFMG-SJE (Orientador)



Prof. Me. André Luyde da Silva Souza – IFMG-SJE (Coorientador)



Prof. Me. Ítalo Magno Pereira – IFMG-SJE

À nossa família pelo apoio incondicional em todos os momentos difíceis da nossa trajetória acadêmica. Este trabalho é dedicado a eles.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por ter proporcionado perseverança em nossas vidas. Aos nossos pais, pelo constante apoio e incentivo que serviram de alicerce para nossas realizações. E aos nossos professores, orientador e coorientador pelas valiosas contribuições dadas durante todo o trabalho.

Agradecemos também ao Instituto Federal de Minas Gerais *campus* São João Evangelista e o seu corpo docente que demonstrou estar comprometido com a qualidade e excelência do ensino.

“O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dia após dia.”

Robert Collier

RESUMO

A indústria de laticínios é um dos principais setores alimentícios do Brasil, entretanto no cenário atual, algumas empresas desse ramo ainda determinam o plano de produção de acordo com demandas dos produtos e desconsideram alguns fatores que poderiam ser importantes podendo interferir na margem de contribuição da empresa. O objetivo deste trabalho é determinar o plano de produção ótimo para uma indústria de laticínios, utilizando a Pesquisa Operacional e a Programação Linear que são fundamentais à tomada de decisão dentro de uma empresa, facilitando o gerenciamento industrial e financeiro. Nesse sentido, foi possível realizar a modelagem do problema, com ajuda da ferramenta solver do software Microsoft Excel, maximizando o lucro bem como encontrando o melhor mix de produção para o máximo aproveitamento dos recursos de acordo com suas limitações. O estudo foi realizado na indústria do Instituto Federal de Minas Gerais *campus* São João Evangelista, cuja atuação consiste na produção de derivados do leite.

Palavras-chave: Indústria de Laticínios. Pesquisa Operacional. Programação Linear, Solver. Otimização.

ABSTRACT

The dairy industry is one of the main food sectors in Brazil, however in the current scenario, some companies in this branch still determine the production plan according to product demands and disregard some factors that could be important and may interfere in the company's contribution margin. The objective of this work is to determine the optimal production plan for a dairy industry, using Operational Research and Linear Programming, which are fundamental to decision making within a company, facilitating industrial and financial management. In this sense, it was possible to perform the problem modeling, with the help of the Microsoft Excel software solver tool, maximizing profit as well as finding the best production mix for maximum use of resources according to their limitations. The study was carried out in the industry of the Federal Institute of Minas Gerais campus São João Evangelista, whose activity consists in the production of milk products.

Keywords: Dairy Industry. Operational Research. Linear Programming, Solver. Optimization.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Esquematização das Fases de um Estudo aplicando a PO | 20 |
| Figura 2 - Resolução da Modelagem | 24 |
| Figura 3 - Estruturação do Problema no Excel 365 | 39 |
| Figura 4 - Resultado da Modelagem no Excel 365 | 40 |
| Figura 5 - Relatório de Sensibilidade | 40 |
| Figura 6 - Estruturação do Problema no Excel 365 (Sem a demanda do Refeitório) | 42 |
| Figura 7 - Resultado da Modelagem no Excel (Sem demanda do Refeitório) | 43 |
| Figura 8 - Relatório de Sensibilidade da modelagem sem a demanda de Refeitório | 43 |
| Figura 9 - Gráfico Comparação das Modelagens | 44 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Ranking das Maiores Empresas de Laticínios do Brasil em 2019 | 16 |
| Tabela 2 - Aplicações da Pesquisa Operacional | 18 |
| Tabela 3 - Lucro e quantidade de litros de leite de cada produto | 22 |
| Tabela 4 - Mão de obra de cada produto por kg..... | 23 |
| Tabela 5 - Demanda de cada produto por kg | 23 |
| Tabela 6 - Mix de produção..... | 25 |
| Tabela 7 - Distribuição semanal | 29 |
| Tabela 8 - Quantidade de leite utilizada em cada produto por kg ou unidade | 29 |
| Tabela 9 - Quantidade de horas utilizada para cada produto por kg ou unidade | 30 |
| Tabela 10 - Demanda mínima e máxima dos produtos | 31 |
| Tabela 11 - Lucro de cada produto | 33 |

LISTA DE SIGLAS

ABIA - Associação Brasileira da Indústria de Alimentos

IFMG - SJE - Instituto Federal de Minas Gerais *campus* São João Evangelista

PL - Programação Linear

PO - Pesquisa Operacional

SOBRAPO - Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | Organização do trabalho..... | 15 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 16 |
| 2.1 | A Indústria de Laticínios..... | 16 |
| 2.2 | Pesquisa Operacional (PO)..... | 17 |
| 2.2.1 | <i>Conceito pesquisa operacional</i> | 17 |
| 2.2.2 | <i>Fases da Resolução de um Problema pela Pesquisa Operacional</i> | 19 |
| 2.3 | Programação linear (PL) | 20 |
| 2.3.1 | <i>Método simplex</i> | 21 |
| 2.3.2 | <i>Exemplo de um caso na indústria de laticínios</i> | 22 |
| 2.4 | Trabalhos correlatos | 25 |
| 3 | METODOLOGIA..... | 26 |
| 3.1 | Natureza da pesquisa..... | 26 |
| 3.2 | Instrumentos utilizados | 26 |
| 3.3 | Métodos e procedimentos | 26 |
| 3.4 | Tratamento de dados | 27 |
| 4 | ESTUDO DE CASO | 28 |
| 4.1 | Problemática..... | 28 |
| 4.2 | Restrições..... | 29 |
| 4.3 | Modelagem..... | 32 |
| 4.4 | Modelagem sem demanda do refeitório | 36 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 38 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 45 |
| | REFERÊNCIAS | 46 |
| | APÊNDICES | 49 |

1 INTRODUÇÃO

A indústria de laticínios apresenta papel fundamental na economia do Brasil, de acordo com Lima (2017) o setor lácteo brasileiro possui um grande número de estabelecimentos, empregos gerados, agregação de valor e, conseqüentemente, geração de renda. Em 2020 a Associação Brasileira da Indústria de Alimentos – ABIA publicou o faturamento do ano de 2019, que foi de 70,9 bilhões de reais, colocando a indústria de laticínios entre os três melhores no ranking dos principais setores de produtos alimentícios. Para tanto as empresas acabam se preparando cada vez mais, segundo Castro, Borgert e Souza (2015) o mercado de lácteos é bastante competitivo, o que torna imprescindível para a sobrevivência das empresas uma gestão eficaz de seus custos.

É nesse contexto que se viu a oportunidade de estudar a aplicação da Pesquisa Operacional na indústria de laticínios do Instituto Federal de Minas Gerais, *campus* São João Evangelista (IFMG-SJE), que conta com uma fábrica onde são produzidos iogurtes de vários sabores, doce de leite e variados tipos de queijos.

Segundo a SOBRAPO – Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, o termo Pesquisa Operacional remete às origens, onde o interesse inicial era a gestão eficiente de logísticas militares. Com o avanço tecnológico e computacional a Pesquisa Operacional (PO) se modernizou e se expandiu para outras áreas, auxiliando o gestor na análise dos mais variados problemas complexos, facilitando a tomada de decisões e a construção de sistemas mais produtivos.

Para Marins (2011) a pesquisa operacional é uma ciência aplicada que utiliza técnicas conhecidas e permite utilizar ferramentas capazes de encontrar um plano de produção que seja ótimo dentro da indústria, uma dessas ferramentas é a Programação Linear, que consiste em resolver problemas transformando-os em equações matemáticas lineares. Para plano de produção ótimo entende-se a melhor configuração de mix que atenda as condições do mercado e as restrições do problema.

De acordo com Barbosa (2014) a programação linear é uma das técnicas mais utilizadas na solução de problemas. Para Castro, Borgert e Souza (2015) a programação linear é uma ferramenta para a otimização de resultados, que leva em conta certas restrições existentes no sistema. Já de acordo com Hillier e Lieberman

(2013) a palavra linear significa que todas as funções matemáticas nesse modelo são funções lineares. Já a palavra programação, é um sinônimo para planejamento. Portanto a Programação Linear é um planejamento de atividades para obter um resultado que atinja o melhor objetivo.

Contemplando a relevância de se obter um plano ótimo dentro da indústria de laticínios do IFMG-SJE, este trabalho tem como objetivo geral realizar um estudo aprofundado de como o uso da Pesquisa Operacional e Programação Linear pode aumentar o potencial da indústria, otimizar recursos e obter benefícios, principalmente financeiros.

Os principais objetivos específicos consistem em:

- a) Levantar informações acerca dos processos da Indústria de Laticínios do IFMG-SJE;
- b) Reunir dados como preço de custo e de venda de cada produto, demandas e restrições;
- c) Modelar os problemas de acordo com as informações coletadas;
- d) Fazer uma análise completa dos resultados e concluir os estudos.

1.1 Organização do trabalho

O estudo está dividido da seguinte forma: O Capítulo 1 é formado pela Introdução. O Capítulo 2 é composto pelo referencial teórico, onde se aborda o cenário da indústria de laticínios no Brasil e o conceito de Pesquisa Operacional e Programação Linear e a relevância da otimização na indústria de laticínios. O Capítulo 3 é constituído pela metodologia, onde estão os métodos abordados e materiais utilizados no estudo. O Capítulo 4 descreve o estudo de caso e a modelagem. O Capítulo 5 contém os resultados e discussões do trabalho. E por fim, o quinto e último Capítulo destaca as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo será apresentado as pesquisas e conceitos relacionados ao que será abordado, estudos e considerações feitas por diversos autores que foram fundamentais para o entendimento do estudo.

2.1 A Indústria de Laticínios

Saito (2007) afirmou que as indústrias de laticínios cresceram juntamente com o desenvolvimento industrial, que no Brasil ocorreu logo após a 2ª Guerra Mundial. Inicialmente as indústrias de laticínios foram formadas por empresas médias familiares e por cooperativas, somente na década de 1970 é que indústrias internacionais de laticínio chegaram ao Brasil e na década de 80 conseguiram evoluir e melhorar obtendo integração com fornecedores.

Atualmente, segundo a Econodata (2021), que é uma empresa tecnológica que utiliza a Big Data para obter informações sobre as empresas de diversos setores no Brasil, existem cadastradas em sua base de dados 12.320 empresas do setor de laticínios, sendo que Minas Gerais é o estado com mais empresas, 2.511 e São Paulo é a cidade que possui maior quantidade de companhias, num total de 228 empresas.

De acordo com o Canal do Leite (2020) a captação das 13 maiores empresas de laticínios do Brasil somou 7,871 milhões de litros em 2019 obtendo um crescimento de 4,1% sobre 2018. A Tabela 1 mostra o ranking das principais empresas de laticínios do Brasil em 2019.

Tabela 1 - Ranking das Maiores Empresas de Laticínios do Brasil em 2019

| Classificação | Empresas (marcas) | Recepção de leite(mil litros) 2019 |
|----------------------|--------------------------|---|
| 1º | NESTLÉ | 1.482.275 |
| 2º | LATIC. BELA VISTA | 1.457.537 |
| 3º | UNIUM | 1.251.157 |
| 4º | EMBARÉ | 549.909 |
| 5º | AURORA | 530.500 |

| | | |
|-------------------------|-------------|------------------|
| 6º | CCGL | 477.889 |
| 7º | CATIVA | 425.798 |
| 8º | JUSSARA | 407.714 |
| 9º | VIGOR | 348.726 |
| 10º | DANONE | 293.634 |
| 11º | DPA BRASIL | 257.193 |
| 12º | FRIMESA | 227.190 |
| 13º | CENTROLEITE | 221.984 |
| Total do ranking | | 7.871.500 |

Fonte: Adaptado de LEITE BRASIL, CNA, OCB, CBCL, VIVA LÁCTEOS, EMBRAPA/Gado de Leite e G100

2.2 Pesquisa Operacional (PO)

Bonini et al. (2016) afirmaram que a Pesquisa Operacional teve seu início em 1938 onde foi aplicada pela primeira vez com uma equipe multidisciplinar, esta que foi designada com o objetivo de avaliar e reposicionar adequadamente os radares da defesa aérea da Inglaterra. A colaboração entre cientistas e militares acabou despertando a prática também nos Estados Unidos, em 1942 haviam pelo menos dois grupos de estudo de Pesquisa Operacional no país. Após a guerra na Inglaterra muitos especialistas em PO passaram a atuar em indústrias, já nos Estados Unidos, George Dantzig tornou-se um especialista em métodos de programação e planejamento, ele desenvolveu o Algoritmo Simplex, que hoje é conhecido como Método Simplex, sendo utilizado em diversas aplicações. Atualmente a Pesquisa Operacional abrange diversas áreas em que se tenha a necessidade de otimizar problemas.

No Brasil, Marins (2011) afirmou que o primeiro grupo formal de PO foi estabelecido em uma empresa da Petrobrás, em 1965. Já em 1966 foi realizado o primeiro seminário de Pesquisa Operacional e três anos depois foi fundada a Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional – SOBRAPO, que tem como objetivo incentivar o desenvolvimento da Pesquisa Operacional no país.

2.2.1 Conceito pesquisa operacional

De acordo com Silva et al. (1998) a Pesquisa Operacional é um método científico de tomada de decisões, ou seja, através desse método e usando esse modelo é que se chega na melhor maneira de operar um processo.

Para Rodrigues et al. (2014) a PO faz parte de uma área chamada *Management Science*, que envolve o uso de uma série de técnicas com embasamento lógico-científico para tratar questões de gestão. Muitas dessas técnicas são feitas com muitos cálculos complexos e que para solucioná-los foi preciso o uso de computadores que suportam realizar cálculos em segundos.

Como o próprio nome indica, a pesquisa operacional envolve "pesquisa sobre operações". Portanto, a pesquisa operacional é aplicada a problemas envolvendo como conduzir e coordenar as operações (isto é, as atividades) em uma organização. (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Lachtermacher (2007) explicou que em diversas áreas no mundo real existe a falta de alguma matéria-prima, dificuldade de produção ou alguma outra limitação que pode gerar problemas para empregar melhor estes recursos escassos de maneira eficaz e eficiente, portanto busca-se maximizar ou minimizar uma quantidade (lucro, custo, receita, número de produtos, entre outros), chamada de objetivo, que depende de um ou mais recursos escassos. Esses processos de otimização podem ser: Determinação de Mix de Produção, Roteamento e Logística, Planejamento Financeiro, Análise de Projetos, Designação de Equipe, entre outros.

Na Tabela 2 são apresentadas as principais aplicações da Pesquisa Operacional, utilizadas por algumas empresas de sucesso reconhecidas segundo Hillier e Lieberman (2013, p. 4).

Tabela 2 - Aplicações da Pesquisa Operacional

| Empresa | Aplicação | Economia anual |
|----------------------|---|-----------------------|
| Continental Airlines | Otimizar a realocação de tripulações quando ocorrem desajustes nos horários de voo. | US\$ 40 milhões |

| | | |
|----------------|--|--------------------------------|
| Samsung | Redução de tempos de fabricação e níveis de estoque. | US\$ 200 milhões mais receitas |
| Sears | Programação de rotas de veículos para as frotas de entrega e atendimento domiciliar. | US\$ 42 milhões |
| General Motors | Aumentar a eficiência das linhas de produção. | US\$ 90 milhões |
| AT&T | Projeto e operação de call centers. | US\$ 750 milhões mais lucros |

Fonte: Adaptado de Hillier e Lieberman (2013, p. 4).

2.2.2 Fases da Resolução de um Problema pela Pesquisa Operacional

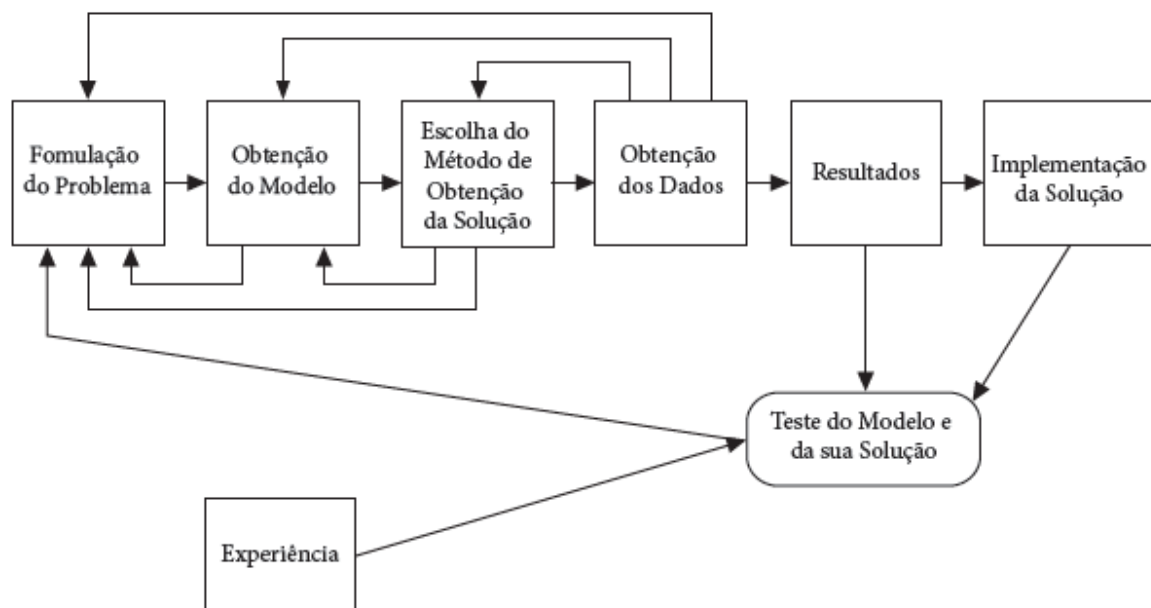
De acordo com Marins (2011) pode-se subdividir a resolução de um problema pela Pesquisa Operacional nas seguintes etapas:

- a) **Formulação do Problema (Identificação do Sistema)** - Para se formular corretamente um problema é necessário que o mesmo seja bem identificado, considerando objetivos, limitações, restrições e aspectos que estão envolvidos no processo.
- b) **Construção do Modelo Matemático** –O modelo matemático é uma representação do problema através de expressões matemáticas. Se existirem **n** decisões, elas serão representadas por **n** variáveis de decisão ou de controle. Nessa etapa é formulada a função objetivo e também a decisão de qual técnica poderá ser utilizada.
- c) **Obtenção da Solução** - Uma vez construído o modelo matemático parte-se para a obtenção de uma solução. Diversos métodos matemáticos podem ser utilizados em PO, entre eles se pode citar, a Programação Linear, a Programação em Redes, a Teoria dos Grafos e a Teoria das Filas.

- d) Teste do Modelo e da Solução Obtida - A fase de teste tem o objetivo de indicar deficiências exigindo correções do modelo.
- e) Implementação – A última etapa consiste em desenvolver uma solução final, é muito importante a participação da equipe que trabalhou com o modelo, para garantir a sua correta implementação.

Na Figura 1 Marins (2011) representa a esquematização das etapas a serem seguidas.

Figura 1 - Esquematização das Fases de um Estudo aplicando a PO



Fonte: Marins (2011, p. 16).

2.3 Programação linear (PL)

Segundo Marins (2011) a Programação Linear visa fundamentalmente encontrar a melhor solução para problemas que tenham seus modelos representados por expressões lineares. Um modelo de Programação Linear (PL) possui uma função objetivo, que pode maximizar lucros ou minimizar custos, respeitando as igualdades e desigualdades que recebem o nome de restrições, estas que determinam o Conjunto Viável, em que a melhor das soluções viáveis denomina-se Solução Ótima. Sendo assim o objetivo da PL é determinar a Solução Ótima de um problema.

Na modelagem da Programação Linear, para Fontana et al. (2018) devem ser estabelecidos:

- a) As variáveis do problema, ou seja, aquilo que se pode controlar e que se deseja saber exatamente o valor;
- b) A função objetivo, sempre que se deseja maximizar ou minimizar determinado objetivo;
- c) As restrições, que também são expressas em função das variáveis do problema e limitam as combinações das variáveis a determinados limites;

Silva et al. (1998) mostraram que a modelagem é simples e tem disponibilidade de solução programável em computador, facilitando assim a aplicação. O modelo matemático de PO é formado por uma função objetivo linear e restrições também lineares.

De acordo com Marins (2011) o modelo da Programação Linear é:

Função objetivo:

$$\text{MAX } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

Restrições – sujeito a:

$$a_{11}x_1 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

.....

$$a_{m1}x_1 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

2.3.1 Método simplex

Um dos principais métodos para a resolução de problemas de Programação Linear é o método Simplex, desenvolvido por George Bernard Dantzig na década de 1940, afirma Fontana et al. (2018).

Esse método será utilizado nesse estudo podendo ser perfeitamente transportado para a ferramenta Excel, da Microsoft e utilizado o recurso do Solver desta ferramenta.

De acordo com site da Microsoft (2021), o Solver é um suplemento do Microsoft Excel que pode ser usado para encontrar um valor ideal (máximo ou mínimo), conforme restrições, ou limites. O Solver determina o valor máximo ou mínimo de uma célula alterando outras células. Por exemplo, pode-se alterar a quantia do seu orçamento publicitário projetado e ver o efeito sobre a quantia de lucro projetado.

2.3.2 Exemplo de um caso na indústria de laticínios

Uma fábrica de laticínios recebe dois mil litros de leite por dia, cinco dias por semana, processando-o nos seguintes produtos: queijo parmesão, queijo minas frescal, queijo tipo mussarela e queijo provolone. Após a análise dos dados obteve-se o lucro e a quantidade de leite gasta de cada produto processado da fábrica, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Lucro e quantidade de litros de leite de cada produto

| Produtos | Lucro por kg | Litros de Leite gasto por kg de cada produto |
|----------------------|---------------------|---|
| Queijo Parmesão | R\$ 1,20 | 10 |
| Queijo Minas Frescal | R\$ 1,80 | 7 |
| Mussarela | R\$ 2,10 | 9 |
| Queijo Provolone | R\$ 3,50 | 11 |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

A fábrica possui dois funcionários que trabalham cinco dias na semana e oito horas por dia. O Funcionário 1 fica responsável pela produção do queijo parmesão e queijo provolone e o Funcionário 2 pela produção do queijo minas frescal e a mussarela. Cada produto tem um tempo determinado para produção, a Tabela 4 mostra a quantidade de hora para cada kg de produto.

Tabela 4 - Mão de obra de cada produto por kg

| Produtos | Mão de obra por kg / horas |
|----------------------|-----------------------------------|
| Queijo Parmesão | 0,07 |
| Queijo Minas Frescal | 0,04 |
| Mussarela | 0,08 |
| Queijo Provolone | 0,10 |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

A demanda máxima semanal de cada produto pode ser vista na Tabela 5.

Tabela 5 - Demanda de cada produto por kg

| Produto | Demanda (Kg) |
|----------------------|---------------------|
| Queijo Parmesão | 255 |
| Queijo Minas Frescal | 300 |
| Mussarela | 350 |
| Queijo Provolone | 211 |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

A indústria deseja maximizar seu lucro, determinando o mix de produção ideal que aproveite os recursos disponíveis. A modelagem do problema é a seguinte:

Variáveis do problema:

- Z: função objetivo do problema; representa, neste caso, o somatório da margem de contribuição unitária dos produtos;
- x_1 : variável para a quantidade em kg de queijo Parmesão;
- x_2 : variável para a quantidade em kg de queijo Minas Frescal;
- x_3 : variável para a quantidade em kg de queijo tipo Mussarela;
- x_4 : variável para a quantidade em kg de queijo Provolone;

O modelo matemático (1-9) apresenta a função objetivo (1) que representa a soma das margens de contribuição a serem maximizadas, a restrição (2) define quantidade máxima de leite disponível, as restrições (3) e (4) limitam o horário de

trabalho dos funcionários 1 e 2, respectivamente. Quanto às restrições (5-8) definem a demanda máxima de cada produto e as restrições (9) garantem a não negatividade do modelo.

Função objetivo:

$$\text{MAX } Z = 1,2x_1 + 1,8x_2 + 2,1x_3 + 3,5x_4 \quad (1)$$

Sujeito à:

$$10x_1 + 7x_2 + 9x_3 + 11x_4 \leq 10000 \quad (2)$$

$$0,07x_1 + 0,1x_4 \leq 40 \quad (3)$$

$$0,04x_2 + 0,08x_3 \leq 40 \quad (4)$$

$$x_1 \leq 255 \quad (5)$$

$$x_2 \leq 300 \quad (6)$$

$$x_3 \leq 350 \quad (7)$$

$$x_4 \leq 211 \quad (8)$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0 \quad (9)$$

A modelagem foi passada para o Microsoft Excel 365 e resolvida com ajuda da ferramenta Solver, obtendo a seguinte solução demonstrada na Figura 2:

Figura 2 - Resolução da Modelagem

| | A | B | C | D | E | F |
|----|----------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------|
| 1 | Variável de Decisão | Produto | Lucro Unitário | Quantidade a ser produzida | Demanda Máxima | Total |
| 2 | x1 | Queijo Parmesão | R\$1,20 | 212,5 | 255 | R\$ 255,00 |
| 3 | x2 | Queijo Minas Frescal | R\$1,80 | 166,6666667 | 300 | R\$ 300,00 |
| 4 | x3 | Queijo Mussarela | R\$2,10 | 166,6666667 | 350 | R\$ 350,00 |
| 5 | x4 | Queijo Provolone | R\$2,80 | 75,35714286 | 211 | R\$ 211,00 |
| 6 | | | | | | |
| 7 | Variável de Decisão | Leite | Horas (Funcionário 1) | Horas (Funcionário 2) | | |
| 8 | x1 | 9,5 | 0,07 | 0 | | |
| 9 | x2 | 7 | 0 | 0,04 | | Objetivo |
| 10 | x3 | 9 | 0 | 0,08 | | R\$ 2.171,80 |
| 11 | x4 | 11 | 0,1 | 0 | | |
| 12 | Disponível | 10000 | 40 | 40 | | |
| 13 | Usado | 9993,5 | 38,95 | 40 | | |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

De acordo com o resultado obtido a indústria em questão poderá obter um lucro de R\$ 2.171,80 por semana se produzir o determinado Mix de Produção relacionado abaixo na Tabela 6, aproveitando assim ao máximo os recursos disponíveis de acordo com suas restrições.

Tabela 6 - Mix de produção

| Produtos | Quantidade a ser produzida (Kg) |
|----------------------|--|
| Queijo Parmesão | 212,5 |
| Queijo Minas Frescal | 166,6 |
| Mussarela | 166,6 |
| Queijo Provolone | 75,3 |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

2.4 Trabalhos correlatos

Estudos da Pesquisa Operacional em indústrias de laticínios não são recentes e podem ser encontrados em alguns trabalhos relacionados ao tema.

Saito (2007), em sua monografia intitulada de “Determinação do Plano de Produção Ótimo para uma Indústria de Laticínios” analisou e determinou um plano de produção para a indústria de laticínios do Instituto de Laticínios Cândido Tostes localizado na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais. Neste trabalho foi possível conhecer a estrutura e todos os dados de produção da fábrica, bem como calcular, mediante as restrições e limitações, o melhor plano de produção ótimo, usando da melhor forma os recursos disponíveis.

Já Stacanelliet *al.* (2015) utilizou também a Pesquisa Operacional e a Programação Linear para realizar o estudo intitulado de “Aplicação da Programação Linear para a Otimização da Produção em um Laticínio Localizado na Região Centro-Oeste de Minas Gerais”, que determinou o melhor mix de produção para alcançar o melhor lucro na indústria.

3 METODOLOGIA

Esta seção descreve os métodos adotados neste projeto tais como; a natureza da pesquisa com a identificação do caráter da mesma, os instrumentos, os materiais e procedimentos usados e o tratamento de dados colhidos por meio dos instrumentos utilizados.

3.1 Natureza da pesquisa

A metodologia aplicada abrange uma pesquisa de estudo de caso, com esfera quantitativa, já que os dados coletados e os resultados obtidos foram baseados em modelos matemáticos de otimização.

3.2 Instrumentos utilizados

Foi utilizado um questionário (APÊNDICE A) com vinte perguntas afim de coletar dados referentes a indústria estudada, alguns dados também foram passados em forma de planilhas e através de entrevistas com o antigo e o atual gestor da Indústria.

Para suporte do projeto foi utilizado o software Excel 365, desenvolvido pela Microsoft, já que o mesmo traz a ferramenta Solver que possibilitou resultados relevantes durante o estudo da otimização da produção de laticínios do IFMG-SJE, essa versão do Excel foi escolhida por ser a versão que possui licença online para o uso de docentes e discentes do Instituto Federal de Minas Gerais.

3.3 Métodos e procedimentos

A pesquisa foi direcionada para análise do processo de produção da indústria do Instituto Federal de Minas Gerais – *campus* São João Evangelista, nesse sentido, o método utilizado foi através das etapas para resolução do problema:

- a) Formulação do Problema – Foi aplicado um questionário ao antigo e ao atual gestor da indústria, ambos com experiência e conhecimento total sobre o funcionamento da fábrica. Além disso, foram feitas diversas entrevistas a fim de aprofundar nas informações coletadas e em seus métodos para a escolha da produção, definindo assim, o objetivo e as restrições do sistema.
- b) Construção do Modelo Matemático – Os modelos foram construídos baseados nas informações coletadas e a função objetivo foi definida como maximização de lucro.
- c) Obtenção da Solução – Para a solução da modelagem foi utilizado a Programação Linear e o software Excel 365 juntamente com sua ferramenta Solver.
- d) Teste do Modelo e da Solução Obtida – Foram feitos alguns testes com as modelagens ajustando as restrições.
- e) Implementação – Por fim, chegou-se à solução final, porém não implementada pois os dados não são atuais, deixando assim a implementação para trabalhos futuros.

3.4 Tratamento de dados

Após a conclusão dos procedimentos houve o tratamento dos dados que resultaram da resolução das modelagens, gerando relatórios para análise.

4 ESTUDO DE CASO

O Instituto Federal de Minas Gerais, *campus* São João Evangelista conta com uma indústria de laticínios onde são recebidos 3127 litros de leite por semana e processado nos seguintes derivados: iogurte (sabores) de 1000ml, iogurte (sabores) 500ml, iogurte (sabores) 200ml, iogurte (sabores) 120ml, queijo Ricota, queijo Minas Frescal, Mussarela em barra, Mussarela em Trança, Mussarela Cabacinha, Doce de Leite Pastoso Natural (Pote com 700g), Doce de Leite Pastoso com Ameixa (Pote com 700g) e Doce de Leite de Corte (Bandeja com 500g). Esses produtos são vendidos no próprio Instituto, no Posto de Vendas para toda comunidade e alguns também são entregues ao refeitório do *campus*, como queijo Minas Frescal, Mussarela, iogurte, Leite e Doce de Leite.

A fábrica possui equipamentos industriais com capacidade média de produção suficiente para atender a demanda do seu Posto de Vendas e também do refeitório do Instituto, possui um tanque de 1000 litros que é utilizado para fazer mussarela, outro menor de 200 litros que é utilizado para fazer a ricota e o queijo minas frescal, a ferramenteira de iogurte com capacidade de 200 litros e o tacho de doce com capacidade de 100 litros. A mão de obra é formada por dois funcionários que trabalham cinco dias na semana, oito horas por dia.

4.1 Problemática

A programação da produção da fábrica é feita de acordo com a quantidade de vendas no posto, sem utilização de nenhum método matemático para auxiliar, sendo assim viu-se a necessidade de elaborar um plano de produção que seja ideal para garantir um melhor resultado financeiro para a fábrica, aproveitando os recursos disponíveis de acordo com as restrições de demanda, mão de obra e quantidade de leite recebido.

O objetivo é estudar a maximização do lucro bem como o melhor mix de produção, utilizando a Pesquisa Operacional e a Programação Linear, com ajuda do software Excel 365 que possui a ferramenta Solver.

Todas as informações obtidas e usadas neste trabalho e na construção do modelo são referentes ao ano de 2018, pois não haviam dados suficientes do ano de 2019 e no ano de 2020, a produção e venda foram interrompidas devido à pandemia da COVID 19.

4.2 Restrições

A primeira limitação é a quantidade de leite recebida na indústria, que totaliza 3127 litros semanais. O leite recebido é processado imediatamente, a Tabela 7 mostra uma previsão da distribuição semanal, podendo haver alterações de acordo com a demanda do leite do refeitório e também da demanda de produtos do Posto de Vendas.

Tabela 7 - Distribuição semanal

| Produto | Volume (litros) |
|-----------------------|------------------------|
| logurte | 810 |
| Mussarela | 1523 |
| Doce de Leite pastoso | 200 |
| Doce de Leite corte | 100 |
| Queijo Minas Frescal | 400 |
| Ricota | 10 |
| Refeitório | 84 |
| Total | 3127 |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

Já a Tabela 8 apresenta a quantidade de leite em litros, necessária para produção de cada unidade ou quilo de produto.

Tabela 8 - Quantidade de leite utilizada em cada produto por kg ou unidade

| Produtos | Quantidade de leite (litro) |
|---------------------------|------------------------------------|
| logurte 1000 ml (unidade) | 1.00 |
| logurte 500 ml (unidade) | 0,50 |

| | |
|--|------|
| logurte 200 ml (unidade) | 0,20 |
| logurte 120 ml (unidade) | 0,12 |
| Ricota (kg) | 0,20 |
| Queijo Minas frescal (kg) | 6,50 |
| Mussarela em barra (kg) | 8,50 |
| Mussarela trança (kg) | 8,50 |
| Mussarela cabacinha (kg) | 8,50 |
| Pastoso natural pote com 700g (unidade) | 1,40 |
| Pastoso com ameixa pote com 700g (unidade) | 1,40 |
| Doce de Leite de corte bandeja com 500g (unidade) | 1,40 |
| Queijo Minas Frescal A granel - Refeitório (kg) | 6,50 |
| Mussarela A granel - Refeitório (kg) | 8,50 |
| logurte A granel - Refeitório (litro) | 1,00 |
| Leite A granel - Refeitório (litro) | 1,00 |
| Doce de Leite Natural Pastoso A granel - Refeitório (Kg) | 2,04 |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

A segunda restrição é a mão de obra demandada para produção, contando com dois funcionários que trabalham oito horas por dia, cinco dias por semana, totalizando 40 horas por semana. O Funcionário 1 é responsável pela produção de todos os tipos de queijos e os doces. O Funcionário 2 pela produção dos logurtes. A Tabela 9 mostra a quantidade de hora utilizada para fabricar cada produto por kg ou unidade.

Tabela 9 - Quantidade de horas utilizada para cada produto por kg ou unidade

| Produtos | Quantidade de horas utilizada (hora) |
|---------------------------|---|
| logurte 1000 ml (unidade) | 0,02 |
| logurte 500 ml (unidade) | 0,02 |
| logurte 200 ml (unidade) | 0,01 |
| logurte 120 ml (unidade) | 0,01 |
| Ricota (kg) | 0,10 |
| Queijo Minas frescal (kg) | 0,04 |
| Mussarela em barra (kg) | 0,08 |
| Mussarela trança (kg) | 0,12 |

| | |
|--|------|
| Mussarela cabacinha (kg) | 0,12 |
| Pastoso natural pote com 700g (unidade) | 0,05 |
| Pastoso com ameixa pote com 700g (unidade) | 0,05 |
| Doce de Leite de corte bandeja com 500g (unidade) | 0,06 |
| Queijo Minas Frescal A granel - Refeitório (kg) | 0,04 |
| Mussarela A granel - Refeitório (kg) | 0,08 |
| logurte A granel - Refeitório (litro) | 0,02 |
| Leite A granel - Refeitório (litro) | 0,00 |
| Doce de Leite Natural Pastoso A granel - Refeitório (Kg) | 0,05 |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

A última limitação é a demanda, ou seja, a quantidade de produtos que vai para o Posto de Vendas e para o refeitório. Para obter um valor mais próximo da realidade, o cálculo das demandas foi feito durante todo o ano de 2018, em cada mês foi calculado a média semanal e depois selecionado o maior e o menor consumo, como mostra Tabela 10.

Tabela 10 - Demanda mínima e máxima dos produtos

| Produtos | Demanda Mínima | Demanda Máxima |
|--|---------------------------|---------------------------|
| logurte 1000 ml (unidade) | 72,75 | 326,25 |
| logurte 500 ml (unidade) | 50,75 | 478,25 |
| logurte 200 ml (unidade) | 130,00 | 487,00 |
| logurte 120 ml (unidade) | 83,50 | 1043,25 |
| Ricota (kg) | 6,29 | 25,15 |
| Queijo Minas Frescal (kg) | 21,79 | 62,86 |
| Mussarela Barra (kg) | 32,64 | 131,48 |
| Mussarela Trança (kg) | 3,29 | 10,41 |
| Mussarela Cabacinha (kg) | 1,60 | 6,23 |
| Doce de leite pastoso natural (unidade - pote 700g) | 22,50 | 78,50 |
| Doce de leite pastoso com ameixa (unidade - pote 700g) | 7,50 | 25,00 |
| Doce de leite de corte (unidade – bandeja 500g) | 20,25 | 47,50 |
| Queijo Minas Frescal A granel - Refeitório (kg) | 5,08 | 31,70 |
| Mussarela A granel - Refeitório (kg) | 15,88 | 93,75 |

| | | |
|--|-------|--------|
| logurte A granel - Refeitório (litro) | 64,25 | 487,50 |
| Leite A granel - Refeitório (litro) | 38,75 | 337,50 |
| Doce de Leite Natural Pastoso A granel - Refeitório (Kg) | 45,00 | 109,00 |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

A capacidade do maquinário não foi considerada como restrição, mesmo que o queijo minas frescal e a ricota sejam feitas no mesmo tanque de 200 litros a produção consegue ser feita durante a semana, ficando um dia reservado para cada produto.

4.3 Modelagem

As variáveis do problema serão a quantidade de produtos que deverão ser produzidos:

- Z: função objetivo do problema; representa, neste caso, o somatório do lucro unitário dos produtos;
- x_1 : variável para a quantidade em unidade de logurte 1000 ml;
- x_2 : variável para a quantidade em unidade de logurte 500 ml;
- x_3 : variável para a quantidade em unidade de logurte 200 ml;
- x_4 : variável para a quantidade em unidade de logurte 120 ml;
- x_5 : variável para a quantidade em Kg de queijo Ricota;
- x_6 : variável para a quantidade em Kg de queijo Minas Frescal;
- x_7 : variável para a quantidade em Kg de queijo Mussarela;
- x_8 : variável para a quantidade em Kg de queijo Mussarela de Trança;
- x_9 : variável para a quantidade em Kg de queijo Mussarela de Cabaça;
- x_{10} : variável para a quantidade em Pote de Doce de Leite pastoso natural (700g);
- x_{11} : variável para a quantidade em Pote de Doce de Leite pastoso natural com ameixa (700g);
- x_{12} : variável para a quantidade em Pote de Doce de Leite corte (500g);
- x_{13} : variável para a quantidade em Kg de Queijo Minas Frescal A granel (Refeitório);
- x_{14} : variável para a quantidade em Kg de Mussarela A granel (Refeitório);

- x_{15} : variável para a quantidade em Kg de logurte A granel (Refeitório);
- x_{16} : variável para a quantidade em L de Leite A granel (Refeitório);
- x_{17} : variável para quantidade em Kg de Doce de Leite Pastoso Natural A granel - Refeitório (kg);

Como o objetivo é maximizar o lucro, a função objetivo é feita com o lucro de cada produto, que é mostrado Tabela 11, os produtos que são entregues ao refeitório não geram lucro.

Tabela 11 - Lucro de cada produto

| Produtos | Lucro |
|--|--------------|
| logurte 1000 ml | R\$ 4,18 |
| logurte 500 ml | R\$ 1,94 |
| logurte 200 ml | R\$ 1,37 |
| logurte 120 ml | R\$ 0,59 |
| Ricota | R\$ 9,88 |
| Minas frescal | R\$ 9,66 |
| Mussarela em barra | R\$ 14,59 |
| Mussarela trança | R\$ 15,23 |
| Mussarela cabaça | R\$ 15,23 |
| Pastoso natural (pote com 700g) | R\$ 9,47 |
| Pastoso com ameixa (pote com 700g) | R\$ 11,19 |
| De corte (bandeja com 500g) | R\$ 9,33 |
| Queijo Minas Frescal A granel - Refeitório (kg) | R\$ 0,00 |
| Mussarela A granel - Refeitório (kg) | R\$ 0,00 |
| logurte A granel - Refeitório (litro) | R\$ 0,00 |
| Leite A granel - Refeitório (litro) | R\$ 0,00 |
| Doce de Leite Natural Pastoso A granel - Refeitório (Kg) | R\$ 0,00 |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

A Função Objetivo é dada por:

$$\text{MAX } Z = 4,18x_1 + 1,94x_2 + 1,37x_3 + 0,59x_4 + 9,88x_5 + 9,66x_6 + 14,59x_7 + 15,23x_8 + 15,23x_9 + 9,47x_{10} + 11,19x_{11} + 9,33x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17};$$

A restrição do Leite fica da seguinte forma:

$$1x_1 + 0,5x_2 + 0,2x_3 + 0,12x_4 + 0,2x_5 + 6,5x_6 + 8,5x_7 + 8,5x_8 + 8,5x_9 + 1,4x_{10} + 1,4x_{11} + 1,4x_{12} + 6,5x_{13} + 8,5x_{14} + 1x_{15} + 1x_{16} + 2,04x_{17} \leq 3127;$$

A segunda restrição é a de mão de obra:

$$0,02x_1 + 0,02x_2 + 0,01x_3 + 0,01x_4 + 0,02x_{15} \leq 40 \text{ (Funcionário 1 - logurtes);}$$

$$0,1x_5 + 0,04x_6 + 0,08x_7 + 0,12x_8 + 0,12x_9 + 0,05x_{10} + 0,05x_{11} + 0,06x_{12} + 0,04x_{13} + 0,08x_{14} + 0,05x_{17} \leq 40 \text{ (Funcionário 2 – Queijos e Doces);}$$

A última restrição são as demandas:

Demanda mínima e máxima respectivamente:

$$x_1 \geq 72,75; x_1 \leq 326,25$$

$$x_2 \geq 50,75; x_2 \leq 478,25$$

$$x_3 \geq 130,00; x_3 \leq 487,00$$

$$x_4 \geq 83,50; x_4 \leq 1043,25$$

$$x_5 \geq 6,29; x_5 \leq 25,15$$

$$x_6 \geq 21,79; x_6 \leq 62,86$$

$$x_7 \geq 32,64; x_7 \leq 131,48$$

$$x_8 \geq 3,29; x_8 \leq 10,41$$

$$x_9 \geq 1,60; x_9 \leq 6,23$$

$$x_{10} \geq 22,50; x_{10} \leq 78,50$$

$$x_{11} \geq 7,50; x_{11} \leq 25,00$$

$$x_{12} \geq 20,25; x_{12} \leq 47,50$$

$$x_{13} \geq 31,70; x_{13} \leq 31,70$$

$$x_{14} \geq 93,75; x_{14} \leq 93,75$$

$$x_{15} \geq 487,50; x_{15} \leq 487,50$$

$$x_{16} \geq 337,50; x_{16} \leq 337,50$$

$$x_{17} \geq 109,00; x_{17} \leq 109,00$$

Para finalizar as restrições do problema, é necessário que todas as variáveis sejam números não negativos.

O modelo matemático enumerado de (10-31) apresenta a função objetivo, (10) que representa a soma das margens de contribuição a serem maximizadas, a restrição (11) define quantidade máxima de leite disponível, as restrições (12) e (13) limitam o horário de trabalho dos funcionários 1 e 2, respectivamente. As restrições (13-30) definem a demanda mínima e máxima respectivamente, de cada produto e as restrições (31) garantem a não negatividade do modelo.

Função objetivo:

$$\text{MAX } Z = 4,8x_1 + 1,94x_2 + 1,37x_3 + 0,59x_4 + 9,88x_5 + 9,66x_6 + 14,59x_7 + 15,23x_8 + 15,23x_9 + 9,47x_{10} + 11,19x_{11} + 9,33x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} \quad (10)$$

Sujeito à:

$$1x_1 + 0,5x_2 + 0,2x_3 + 0,12x_4 + 0,2x_5 + 6,5x_6 + 8,5x_7 + 8,5x_8 + 8,5x_9 + 1,4x_{10} + 1,4x_{11} + 1,4x_{12} + 6,5x_{13} + 8,5x_{14} + 1x_{15} + 1x_{16} + 2,04x_{17} \leq 3127 \quad (11)$$

$$0,02x_1 + 0,02x_2 + 0,01x_3 + 0,01x_4 + 0,02x_{15} \leq 40 \quad (12)$$

$$0,1x_5 + 0,04x_6 + 0,08x_7 + 0,12x_8 + 0,12x_9 + 0,05x_{10} + 0,05x_{11} + 0,06x_{12} + 0,04x_{13} + 0,08x_{14} + 0,05x_{17} \leq 40 \quad (13)$$

$$x_1 \geq 72,75; x_1 \leq 326,25 \quad (14)$$

$$x_2 \geq 50,75; x_2 \leq 478,25 \quad (15)$$

$$x_3 \geq 130,00; x_3 \leq 487,00 \quad (16)$$

$$x_4 \geq 83,50; x_4 \leq 1043,25 \quad (17)$$

$$x_5 \geq 6,29; x_5 \leq 25,15 \quad (18)$$

$$x_6 \geq 21,79; x_6 \leq 62,86 \quad (19)$$

$$x_7 \geq 32,64; x_7 \leq 131,48 \quad (20)$$

$$x_8 \geq 3,29; x_8 \leq 10,41 \quad (21)$$

$$x_9 \geq 1,60; x_9 \leq 6,23 \quad (22)$$

$$x_{10} \geq 22,50; x_{10} \leq 78,50 \quad (23)$$

$$x_{11} \geq 7,50; x_{11} \leq 25,00 \quad (24)$$

$$x_{12} \geq 20,25; x_{12} \leq 47,50 \quad (25)$$

$$x_{13} \geq 31,70; x_{13} \leq 31,70 \quad (26)$$

$$x_{14} \geq 93,75; x_{14} \leq 93,75 \quad (27)$$

$$x_{15} \geq 487,50; x_{15} \leq 487,50 \quad (28)$$

$$x_{16} \geq 337,50; x_{16} \leq 337,50 \quad (29)$$

$$x_{17} \geq 109,00; x_{17} \leq 109,00 \quad (30)$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17} \geq 0 \quad (31)$$

4.4 Modelagem sem demanda do refeitório

Após agosto de 2018 a indústria parou de fornecer produtos para o refeitório, foi feito assim uma nova modelagem sem a demanda do mesmo.

As variáveis do problema serão a quantidade de produtos que deverão ser produzidos:

- Z: função objetivo do problema; representa, neste caso, o somatório do lucro unitário dos produtos;
- x_1 : variável para a quantidade em unidade de logurte 1000 ml;
- x_2 : variável para a quantidade em unidade de logurte 500 ml;
- x_3 : variável para a quantidade em unidade de logurte 200 ml;
- x_4 : variável para a quantidade em unidade de logurte 120 ml;
- x_5 : variável para a quantidade em Kg de queijo Ricota;
- x_6 : variável para a quantidade em Kg de queijo Minas Frescal;
- x_7 : variável para a quantidade em Kg de queijo Mussarela;
- x_8 : variável para a quantidade em Kg de queijo Mussarela de Trança;
- x_9 : variável para a quantidade em Kg de queijo Mussarela de Cabaça;
- x_{10} : variável para a quantidade em Pote de Doce de Leite pastoso natural (700g);
- x_{11} : variável para a quantidade em Pote de Doce de Leite pastoso natural com ameixa (700g);
- x_{12} : variável para a quantidade em Pote de Doce de Leite corte (500g);

O modelo matemático (32-48) apresenta a função objetivo, (32) que representa a soma das margens de contribuição a serem maximizadas, a restrição (33) define quantidade máxima de leite disponível, as restrições (34) e (35) limitam o horário de trabalho dos funcionários 1 e 2, respectivamente. As restrições (36-47) definem a demanda mínima e máxima respectivamente, de cada produto e as restrições (48) garantem a não negatividade do modelo.

Função objetivo:

$$\text{MAX } Z = 4,8x_1 + 1,94x_2 + 1,37x_3 + 0,59x_4 + 9,88x_5 + 9,66x_6 + 14,59x_7 + 15,23x_8 + 15,23x_9 + 9,47x_{10} + 11,19x_{11} + 9,33x_{12} \quad (32)$$

Sujeito à:

$$1x_1 + 0,5x_2 + 0,2x_3 + 0,12x_4 + 0,2x_5 + 6,5x_6 + 8,5x_7 + 8,5x_8 + 8,5x_9 + 1,4x_{10} + 1,4x_{11} + 1,4x_{12} \leq 3127 \quad (33)$$

$$0,02x_1 + 0,02x_2 + 0,01x_3 + 0,01x_4 \leq 40 \quad (34)$$

$$0,1x_5 + 0,04x_6 + 0,08x_7 + 0,12x_8 + 0,12x_9 + 0,05x_{10} + 0,05x_{11} + 0,06x_{12} \leq 40 \quad (35)$$

$$x_1 \geq 72,75; x_1 \leq 326,25 \quad (36)$$

$$x_2 \geq 50,75; x_2 \leq 478,25 \quad (37)$$

$$x_3 \geq 130,00; x_3 \leq 487,00 \quad (38)$$

$$x_4 \geq 83,50; x_4 \leq 1043,25 \quad (39)$$

$$x_5 \geq 6,29; x_5 \leq 25,15 \quad (40)$$

$$x_6 \geq 21,79; x_6 \leq 62,86 \quad (41)$$

$$x_7 \geq 32,64; x_7 \leq 131,48 \quad (42)$$

$$x_8 \geq 3,29; x_8 \leq 10,41 \quad (43)$$

$$x_9 \geq 1,60; x_9 \leq 6,23 \quad (44)$$

$$x_{10} \geq 22,50; x_{10} \leq 78,50 \quad (45)$$

$$x_{11} \geq 7,50; x_{11} \leq 25,00 \quad (46)$$

$$x_{12} \geq 20,25; x_{12} \leq 47,50 \quad (47)$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17} \geq 0 \quad (48)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este Capítulo apresenta os resultados por meio dos cálculos feitos, que colaboraram com o desenvolvimento do estudo.

Após a definição da problemática e de toda a modelagem, de acordo com as etapas, os dados foram para o software Excel 365 da Microsoft, e através da ferramenta solver foi possível determinar a solução ótima do problema, bem como o melhor mix de produção para alcançar o melhor objetivo. A estrutura do problema no software pode ser vista na Figura 3.

Figura 3 - Estruturação do Problema no Excel 365

| Variável de Decisão | Produto | Lucro Unitário | Quantidade a ser produzida | Demanda Mínima | Demanda Máxima | Total |
|---------------------|--|----------------|----------------------------|----------------|----------------|-----------|
| x1 | logurte 1000 ml (unidade) | R\$4,18 | 151,68 | 72,75 | 326,25 | R\$634,02 |
| x2 | logurte 500 ml (unidade) | R\$1,94 | 50,75 | 50,75 | 478,25 | R\$98,46 |
| x3 | logurte 200 ml (unidade) | R\$1,37 | 487 | 130,00 | 487,00 | R\$667,19 |
| x4 | logurte 120 ml (unidade) | R\$0,59 | 1043,25 | 83,50 | 1043,25 | R\$615,52 |
| x5 | Ricota (kg) | R\$9,88 | 25,15 | 6,29 | 25,15 | R\$248,48 |
| x6 | Queijo Minas Frescal (kg) | R\$9,66 | 21,79 | 21,79 | 62,86 | R\$210,49 |
| x7 | Mussarela Barra (kg) | R\$14,59 | 32,64 | 32,64 | 131,48 | R\$476,22 |
| x8 | Mussarela Trança (kg) | R\$15,23 | 3,29 | 3,29 | 10,41 | R\$50,11 |
| x9 | Mussarela Cabaça (kg) | R\$15,23 | 1,6 | 1,60 | 6,23 | R\$24,37 |
| x10 | Doce de leite pastoso natural (unidade - pote 700g) | R\$9,47 | 78,5 | 22,50 | 78,50 | R\$743,40 |
| x11 | Doce de leite pastoso com ameixa (unidade - pote 700g) | R\$11,19 | 25 | 7,50 | 25,00 | R\$279,75 |
| x12 | Doce de leite de corte (unidade - bandeja 500g) | R\$9,33 | 47,5 | 20,25 | 47,50 | R\$443,18 |
| x13 | Queijo Minas Frescal A granel - Refeitório (kg) | R\$0,00 | 31,7 | 31,70 | 31,70 | R\$0,00 |
| x14 | Mussarela A granel - Refeitório (kg) | R\$0,00 | 93,75 | 93,75 | 93,75 | R\$0,00 |
| x15 | logurte A granel - Refeitório (litro) | R\$0,00 | 487,5 | 487,50 | 487,50 | R\$0,00 |
| x16 | Leite A granel - Refeitório (litro) | R\$0,00 | 337,5 | 337,50 | 337,50 | R\$0,00 |
| x17 | Doce de Leite Natural Pastoso A granel - Refeitório (Kg) | R\$0,00 | 109 | 109,00 | 109,00 | R\$0,00 |

| Variável de Decisão | Produto | Leite | Horas (Funcionário 1) | Horas (Funcionário 2) |
|---------------------|--|-------------|-----------------------|-----------------------|
| x1 | logurte 1000 ml (unidade) | 1 | 0,02 | 0 |
| x2 | logurte 500 ml (unidade) | 0,5 | 0,02 | 0 |
| x3 | logurte 200 ml (unidade) | 0,2 | 0,01 | 0 |
| x4 | logurte 120 ml (unidade) | 0,12 | 0,01 | 0 |
| x5 | Ricota (kg) | 0,2 | 0 | 0,1 |
| x6 | Queijo Minas Frescal (kg) | 6,5 | 0 | 0,04 |
| x7 | Mussarela Barra (kg) | 8,5 | 0 | 0,08 |
| x8 | Mussarela Trança (kg) | 8,5 | 0 | 0,12 |
| x9 | Mussarela Cabaça (kg) | 8,5 | 0 | 0,12 |
| x10 | Doce de leite pastoso natural (unidade - pote 700g) | 1,4 | 0 | 0,05 |
| x11 | Doce de leite pastoso com ameixa (unidade - pote 700g) | 1,4 | 0 | 0,05 |
| x12 | Doce de leite de corte (unidade - bandeja 500g) | 1,4 | 0 | 0,06 |
| x13 | Queijo Minas Frescal A granel - Refeitório (kg) | 6,5 | 0 | 0,04 |
| x14 | Mussarela A granel - Refeitório (kg) | 8,5 | 0 | 0,08 |
| x15 | logurte A granel - Refeitório (litro) | 1 | 0,02 | 0 |
| x16 | Leite A granel - Refeitório (litro) | 1 | 0 | 0 |
| x17 | Doce de Leite Pastoso Natural A granel - Refeitório (kg) | 2,04 | 0 | 0,05 |
| Disponível | | 3127 | 40 | 40 |
| Usado | | 3127 | 29,1011 | 28,8276 |

| |
|-----------------|
| Objetivo |
| R\$ 4.491,17 |

| |
|----------------|
| Por mês |
| R\$ 17.964,68 |

| |
|----------------|
| Por ano |
| R\$ 215.576,19 |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

De acordo com as condições citadas acima e respeitando as restrições chegou-se em um lucro máximo semanal de R\$ 4.491,17, mensal de R\$ 17.964,68 e anual R\$ 215.576,19.

A solução final do problema que maximiza o lucro semanal da indústria pode ser vista na Figura 4. É importante destacar que os produtos que absorveram a

demanda máxima se caracterizam por terem um lucro mais expressivo, produtos como logurte 200ml, logurte 120ml, Ricota, Doce de Leite pastoso natural e Doce de Leite pastoso com ameixa.

Figura 4 - Resultado da Modelagem no Excel 365

| | A | B | C | D | E | F |
|----|---|---------------------------|--|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| 13 | | | | | | |
| 14 | | Célula do Objetivo (Máx.) | | | | |
| 15 | | Célula | Nome | Valor Original | Valor Final | |
| 16 | | \$G\$22 | Objetivo | R\$ 4.491,17 | R\$ 4.491,17 | |
| 17 | | | | | | |
| 18 | | | | | | |
| 19 | | Células Variáveis | | | | |
| 20 | | Célula | Nome | Valor Original | Valor Final | Número Inteiro |
| 21 | | \$D\$2 | logurte 1000 ml (unidade) QUANTIDADE | 151,68 | 151,68 | Conting. |
| 22 | | \$D\$3 | logurte 500 ml (unidade) QUANTIDADE | 50,75 | 50,75 | Conting. |
| 23 | | \$D\$4 | logurte 200 ml (unidade) QUANTIDADE | 487 | 487 | Conting. |
| 24 | | \$D\$5 | logurte 120 ml (unidade) QUANTIDADE | 1043,25 | 1043,25 | Conting. |
| 25 | | \$D\$6 | Ricota (kg) QUANTIDADE | 25,15 | 25,15 | Conting. |
| 26 | | \$D\$7 | Queijo Minas Frescal (kg) QUANTIDADE | 21,79 | 21,79 | Conting. |
| 27 | | \$D\$8 | Mussarela Barra (kg) QUANTIDADE | 32,64 | 32,64 | Conting. |
| 28 | | \$D\$9 | Mussarela Trança (kg) QUANTIDADE | 3,29 | 3,29 | Conting. |
| 29 | | \$D\$10 | Mussarela Cabaça (kg) QUANTIDADE | 1,6 | 1,6 | Conting. |
| 30 | | \$D\$11 | Doce de leite pastoso natural (unidade - pote 700g) QUANTIDADE | 78,5 | 78,5 | Conting. |
| 31 | | \$D\$12 | Doce de leite pastoso com ameixa (unidade - pote 700g) QUANTIDADE | 25 | 25 | Conting. |
| 32 | | \$D\$13 | Doce de leite de corte (unidade - bandeja 500g) QUANTIDADE | 47,5 | 47,5 | Conting. |
| 33 | | \$D\$14 | Queijo Minas Frescal A granel - Refeitório (kg) QUANTIDADE | 31,7 | 31,7 | Conting. |
| 34 | | \$D\$15 | Mussarela A granel - Refeitório (kg) QUANTIDADE | 93,75 | 93,75 | Conting. |
| 35 | | \$D\$16 | logurte A granel - Refeitório (litro) QUANTIDADE | 487,5 | 487,5 | Conting. |
| 36 | | \$D\$17 | Leite A granel - Refeitório (litro) QUANTIDADE | 337,5 | 337,5 | Conting. |
| 37 | | \$D\$18 | Doce de Leite Natural Pastoso A granel - Refeitório (litro) QUANTIDADE | 109 | 109 | Conting. |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

O solver, além de calcular o objetivo, também mostra o Relatório de Sensibilidade que permite fazer considerações sobre eventuais alterações nas condições do problema. Pode-se verificar qual impacto, por exemplo, haverá na margem de contribuição total com uma eventual quebra de restrição. A Figura 5 mostra o Relatório de Sensibilidade do problema.

Figura 5 - Relatório de Sensibilidade

| | Restrições | | | | | | |
|----|---------------|-------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | Célula | Nome | Final Valor | Sombra Preço | Restrição Lateral R.H. | Permitido Aumentar | Permitido Reduzir |
| 27 | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | |
| 29 | | \$C\$39 | Usado Leite | 3127 | 4,18 | 3127 | 174,57 78,93 |
| 30 | | \$D\$39 | Usado Horas (Funcionário 1) | 29,101 | 0 | 40 | 1E+30 10,8989 |
| 31 | | \$E\$39 | Usado Horas (Funcionário 2) | 28,828 | 0 | 40 | 1E+30 11,1724 |
| 32 | | | | | | | |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

A partir do relatório pode-se observar que:

- Todo o leite disponível foi utilizado, por não haver folga, é um recurso escasso e sendo assim gera um valor de Preço Sombra, ou seja, para cada litro de leite a mais disponível, aumentaria o lucro em R\$ 4,18;

- Havia 40 horas para o Funcionário 1 trabalhar, ou seja, ainda há uma folga de 11,8989 horas, sendo assim, as horas trabalhadas do Funcionário 1 não é um recurso escasso e não tem impacto no lucro;

- Havia 40 horas para o Funcionário 2 trabalhar, ou seja, ainda há uma folga de 11,1724 horas, sendo assim, as horas trabalhadas do Funcionário 2 não é um recurso escasso e não tem impacto no lucro;

Após a definição da problemática e de toda a modelagem sem a demanda do Refeitório, os dados foram para o software Excel 365 da Microsoft, e através da ferramenta solver foi possível determinar a solução ótima do problema, bem como o melhor mix de produção para alcançar o melhor objetivo, a Figura 6 mostra a estruturação do problema.

Figura 6 - Estruturação do Problema no Excel 365 (Sem a demanda do Refeitório)

| VARIÁVEL DE DECISÃO | PRODUTO | LUCRO UNITÁRIO | QUANTIDADE | DEMANDA MÍNIMA | DEMANDA MÁXIMA | TOTAL |
|---------------------|--|----------------|------------|----------------|----------------|-------------|
| x1 | logurte 1000 ml (unidade) | R\$4,18 | 326,25 | 72,75 | 326,25 | R\$1.363,73 |
| x2 | logurte 500 ml (unidade) | R\$1,94 | 478,25 | 50,75 | 478,25 | R\$927,81 |
| x3 | logurte 200 ml (unidade) | R\$1,37 | 487 | 130,00 | 487,00 | R\$667,19 |
| x4 | logurte 120 ml (unidade) | R\$0,59 | 1043,25 | 83,50 | 1043,25 | R\$615,52 |
| x5 | Ricota (kg) | R\$9,88 | 25,15 | 6,29 | 25,15 | R\$248,48 |
| x6 | Queijo Minas Frescal (kg) | R\$9,66 | 62,86 | 21,79 | 62,86 | R\$607,23 |
| x7 | Mussarela Barra (kg) | R\$14,59 | 131,48 | 32,64 | 131,48 | R\$1.918,29 |
| x8 | Mussarela Trança (kg) | R\$15,23 | 10,41 | 3,29 | 10,41 | R\$158,54 |
| x9 | Mussarela Cabaça (kg) | R\$15,23 | 6,23 | 1,60 | 6,23 | R\$94,88 |
| x10 | Doce de leite pastoso natural (unidade - pote 700g) | R\$9,47 | 78,5 | 22,50 | 78,50 | R\$743,40 |
| x11 | Doce de leite pastoso com ameixa (unidade - pote 700g) | R\$11,19 | 25 | 7,50 | 25,00 | R\$279,75 |
| x12 | Doce de leite de corte (unidade - bandeja 500g) | R\$9,33 | 47,5 | 20,25 | 47,50 | R\$443,18 |

| Variável de Decisão | Produto | Leite | Horas (Funcionário 1) | Horas (Funcionário 2) |
|---------------------|--|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| x1 | logurte 1000 ml (unidade) | 1 | 0,02 | 0 |
| x2 | logurte 500 ml (unidade) | 0,5 | 0,02 | 0 |
| x3 | logurte 200 ml (unidade) | 0,2 | 0,01 | 0 |
| x4 | logurte 120 ml (unidade) | 0,12 | 0,01 | 0 |
| x5 | Ricota (kg) | 0,2 | 0 | 0,1 |
| x6 | Queijo Minas Frescal (kg) | 6,5 | 0 | 0,04 |
| x7 | Mussarela Barra (kg) | 8,5 | 0 | 0,08 |
| x8 | Mussarela Trança (kg) | 8,5 | 0 | 0,12 |
| x9 | Mussarela Cabaça (kg) | 8,5 | 0 | 0,12 |
| x10 | Doce de leite pastoso natural (unidade - pote 700g) | 1,4 | 0 | 0,05 |
| x11 | Doce de leite pastoso com ameixa (unidade - pote 700g) | 1,4 | 0 | 0,05 |
| x12 | Doce de leite de corte (unidade - bandeja 500g) | 1,4 | 0 | 0,06 |
| Disponível | | 3127 | 40 | 40 |
| Usado | | 2672,005 | 31,3925 | 25,5696 |

| |
|-----------------|
| Objetivo |
| R\$ 8.067,99 |

| |
|----------------|
| Por mês |
| R\$ 32.271,95 |

| |
|----------------|
| Por ano |
| R\$ 387.263,40 |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

De acordo com as restrições e desconsiderando a demanda do refeitório, chegou-se em um lucro máximo semanal de R\$ 8.067,99, mensal de R\$ 32.271,95 e anual R\$ 387.263,40.

A solução final do problema, sem a demanda do refeitório, que maximiza o lucro semanal da indústria pode ser vista na Figura 7. É importante observar que, comparando com a outra modelagem, o lucro dessa é maior, visto que todos os produtos absorveram a demanda máxima, procurando utilizar ao todo os recursos disponíveis, porém a restrição de demanda máxima não foi suficiente para usar todo leite, o que pode ser facilmente resolvido com a venda do leite restante para alguma empresa.

Figura 7 - Resultado da Modelagem no Excel (Sem demanda do Refeitório)

| | A | B | C | D | E | F |
|----|---|---------------------------|---|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| 13 | | | | | | |
| 14 | | Célula do Objetivo (Máx.) | | | | |
| 15 | | Célula | Nome | Valor Original | Valor Final | |
| 16 | | \$G\$17 | Objetivo | R\$ 8.067,99 | R\$ 8.067,99 | |
| 17 | | | | | | |
| 18 | | | | | | |
| 19 | | Células Variáveis | | | | |
| 20 | | Célula | Nome | Valor Original | Valor Final | Número Inteiro |
| 21 | | \$D\$2 | iogurte 1000 ml (unidade) QUANTIDADE | 326,25 | 326,25 | Conting. |
| 22 | | \$D\$3 | iogurte 500 ml (unidade) QUANTIDADE | 478,25 | 478,25 | Conting. |
| 23 | | \$D\$4 | iogurte 200 ml (unidade) QUANTIDADE | 487 | 487 | Conting. |
| 24 | | \$D\$5 | iogurte 120 ml (unidade) QUANTIDADE | 1043,25 | 1043,25 | Conting. |
| 25 | | \$D\$6 | Ricota (kg) QUANTIDADE | 25,15 | 25,15 | Conting. |
| 26 | | \$D\$7 | Queijo Minas Frescal (kg) QUANTIDADE | 62,86 | 62,86 | Conting. |
| 27 | | \$D\$8 | Mussarela Barra (kg) QUANTIDADE | 131,48 | 131,48 | Conting. |
| 28 | | \$D\$9 | Mussarela Trança (kg) QUANTIDADE | 10,41 | 10,41 | Conting. |
| 29 | | \$D\$10 | Mussarela Cabaça (kg) QUANTIDADE | 6,23 | 6,23 | Conting. |
| 30 | | \$D\$11 | Doce de leite pastoso natural (unidade - pote 700g) QUANTIDADE | 78,5 | 78,5 | Conting. |
| 31 | | \$D\$12 | Doce de leite pastoso com ameixa (unidade - pote 700g) QUANTIDADE | 25 | 25 | Conting. |
| 32 | | \$D\$13 | Doce de leite de corte (unidade - bandeja 500g) QUANTIDADE | 47,5 | 47,5 | Conting. |
| 33 | | | | | | |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

Analisando o Relatório de Sensibilidade, na Figura 8, da modelagem sem a demanda do Refeitório podemos concluir que:

- Havia 3127 litros de leite disponível, ou seja, ainda há uma folga de 454,995, sendo assim, o leite não é um recurso escasso e não tem impacto no lucro, isso acontece porque a demanda máxima já foi absorvida de acordo com as restrições de mercado;

- Havia 40 horas para o Funcionário 1 trabalhar, ou seja, ainda há uma folga de 8,6075 horas, sendo assim, as horas trabalhadas do Funcionário 1 não é um recurso escasso e não tem impacto no lucro;

- Havia 40 horas para o Funcionário 2 trabalhar, ou seja, ainda há uma folga de 14,4304 horas, sendo assim, as horas trabalhadas do Funcionário 2 não é um recurso escasso e não tem impacto no lucro;

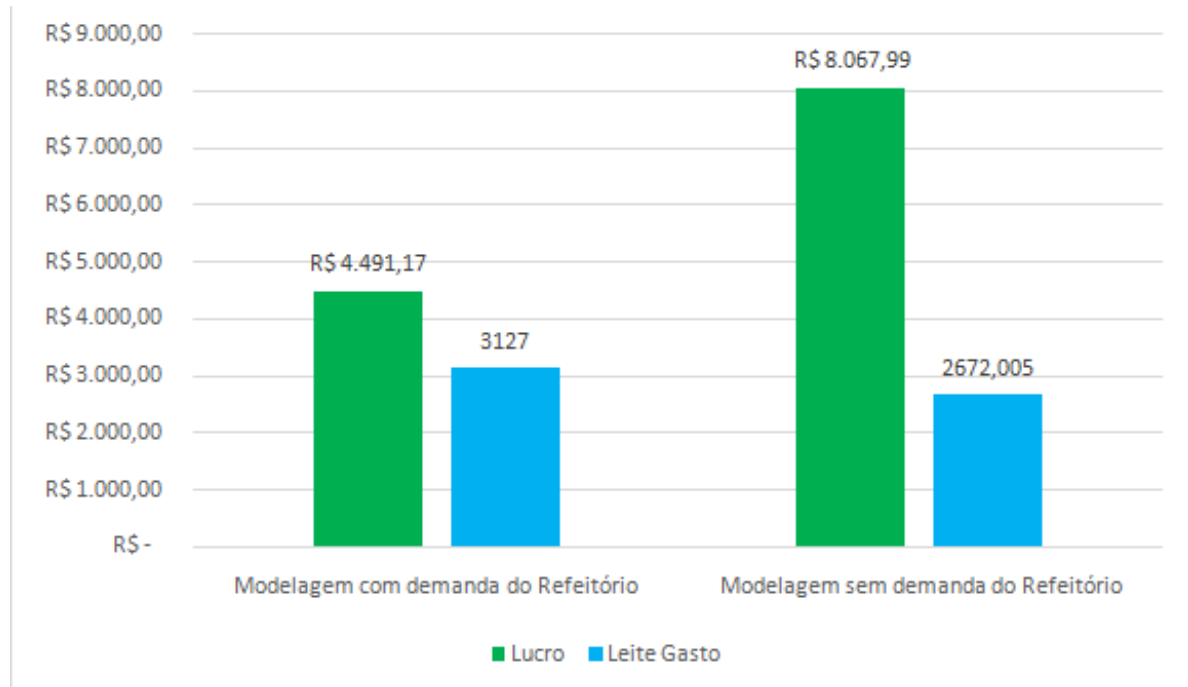
Figura 8 - Relatório de Sensibilidade da modelagem sem a demanda de Refeitório

| 22 | Restrições | | | | | | |
|----|---------------|-----------------------------|--------------|--------------|---------------------|------------------|---------|
| 23 | | | Final | Sombra | Restrição | Permitido | |
| 24 | Célula | Nome | Valor | Preço | Lateral R.H. | Permitido | |
| 25 | | | | | Aumentar | Reduzir | |
| 25 | \$C\$29 | Usado Leite | 2672,005 | 0 | 3127 | 1E+30 | 454,995 |
| 26 | \$D\$29 | Usado Horas (Funcionário 1) | 31,3925 | 0 | 40 | 1E+30 | 8,6075 |
| 27 | \$E\$29 | Usado Horas (Funcionário 2) | 25,5696 | 0 | 40 | 1E+30 | 14,4304 |
| 28 | | | | | | | |

Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

No Gráfico 1 pode-se observar a comparação das duas modelagens, onde a primeira aproveita todo o leite disponível, porém com um lucro menor já a segunda, sem a demanda do refeitório, o leite não é todo aproveitado, porém o lucro é maior.

Figura 9 - Gráfico de comparação das modelagens



Fonte: Elaboração própria dos autores (2021)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos propostos inicialmente foram alcançados, foi possível estudar a relevância de aplicar a Pesquisa Operacional dentro da indústria estudada, confirmando que a PO é uma ferramenta importante na tomada de decisão dentro de uma empresa, afinal pôde-se chegar a um objetivo ótimo, onde foi aproveitado ao máximo os recursos disponíveis. Porém a PO é apenas uma forma de auxiliar os gestores nas decisões do mix de produção, afinal as condições de mercado devem ser consideradas de acordo com o que o Posto de Vendas consegue absorver.

O plano de produção ótimo mostrou que alguns produtos conseguiram alcançar a demanda máxima, aproveitando a margem de lucro, já outros produtos apareceram somente para atender a demanda mínima, pois de acordo com suas restrições não geram uma boa margem de lucro.

Já no plano de produção sem a demanda de refeitório, todos os produtos atenderam a demanda máxima e mesmo assim houve uma sobra considerável de leite, uma solução para esse caso seria a venda do leite para outra empresa para não que houvesse prejuízo.

Esse trabalho é uma oportunidade para que tanto a indústria estudada quanto outras indústrias sendo de laticínios ou não, possam agregar à gestão uma ferramenta de fácil utilização que gera resultados bastante significativos para o gerenciamento de uma empresa.

Para trabalhos futuros a proposta é realizar uma nova modelagem com dados atualizados para um melhor aproveitamento do estudo, bem como a implementação do modelo dentro da indústria.

REFERÊNCIAS

ARENALES, Marcos; ARMENTANO, Vinícius; MORABITO, Reinaldo; YANASSE, Horacio. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011. ISBN 978-85-352-5193-7.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS. 2019. Número de Setor-Faturamento. Disponível em: <<https://www.abia.org.br/vsn/anexos/faturamento2019.pdf> >. Acesso em: 08 de mar. de 2020.

BONINI, Anderson Carlos *et al.* **Um estudo teórico sobre a história da pesquisa operacional**. In: Evento de Iniciação Científica, 2015, Curitiba. **Anais**, Curitiba: 2015. p. 1 – 5;

CANAL DO LEITE, Captação dos maiores laticínios aumenta 4,1% em 2019. Captação dos maiores laticínios aumenta. Disponível em: <<https://canaldoleite.com/noticias/captacao-dos-maiores-laticinios-aumenta-41-em-2019/#:~:text=A%20Nestl%C3%A9%20manteve%20a%20lideran%C3%A7a,crescimento%20de%205%2C1%25>>. Acesso em: 12 de jan. de 2021.

CASTRO, Linelson Y; BORGET, Altair; SOUZA, Flávia Renata de; **Definição do mix de produção em uma indústria de lácteos com uso da programação linear: um estudo de caso**. Foz do Iguaçu, 2015.

ECONODATA, Setor de Laticínios. Indústria Alimentos Laticínios. Disponível em: <<https://www.econodata.com.br/setor/INDUSTRIA-ALIMENTOS-LATICINIOS>>. Acesso em: 12 de jan. de 2021.

FONTANA, Valderedo Sedano; NUNES, Vanessa Battestin; SILVA, Jane Maria da; Programação linear com o uso do Excel e do solver: uma abordagem aplicada no ensino médio. **Revista Dimensão Acadêmica**, Cachoeiro de Itapemirim, v.3, n.1, p. 77-93, jan-jun, 2018.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. ed. rev. São Paulo: McGraw-Hill, 2013.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões: Modelagem em Excel**. 3. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 226 p. ISBN 85-352-2087-9 - 978-85-352-2087-2.

LIMA, Luiz Paulo de; PEREZ, Ronaldo; CHAVES, José Benício Paes. **A indústria de laticínios no Brasil: um estudo exploratório**. Curitiba, 2017.

MARINS, Fernando Augusto Silva. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2011. 176 p. ISBN 978-85-7983-167-6.

Microsoft. Definir e resolver um problema usando o Solver. Definir e resolver um problema usando o Solver. Disponível em: <<https://support.microsoft.com/pt-br/office/definir-e-resolver-um-problema-usando-o-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>>. Acesso em: 12 de jan. de 2021

RODRIGUES, Luís Henrique; AHLERT, Fabiano; LACERDA, Daniel Pacheco; CAMARGO, Luis Felipe Riehs; LIMA, Pedro Nascimento de. **Pesquisa Operacional - Programação Linear Passo a Passo: Do entendimento do problema à interpretação da solução**. São Leopoldo: Unisinos, 2014. 162 p.

SAITO, Michael Mitsuo. **Determinação do plano de produção ótimo para uma indústria de laticínios**. Juiz de Fora, 2007. 62p.

SILVA, Bráulio. Pesquisa operacional: visão geral. **Administradores.com**, 2011. Disponível em: <<https://administradores.com.br/artigos/pesquisa-operacional-visao-geral/>>. Acesso em: 20 de ago. de 2020.

SILVA, Ermes Medeiros da; SILVA, Elio Medeiros da; GONÇALVES, Valter; MUROLO, Afrânio Carlos. **Pesquisa Operacional**: Programação Linear; Simulação. 3. ed. São Paulo: Atlas S.A., 1998. 185 p. ISBN 85-224-1931-0.

STACANELLI, Thais Machado et al. Aplicação da Programação Linear para a Otimização da Produção em um Laticínio Localizado na Região Centro-Oeste de Minas Gerais. Xxxv Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza, p. 1-15, 16 out. 2015.

SOBRAPO. O que é pesquisa operacional?. O que é Pesquisa Operacional. Disponível em: <<https://www.sobrapo.org.br/o-que-e-pesquisa-operacional>>. Acesso em: 20 de ago. de 2020.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Questionário para obtenção de dados da indústria de laticínios



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS

Questionário para obtenção de dados da Indústria de Laticínios do IFMG-SJE

1. Nome do respondente: _____
2. Cargo: _____
3. Número de funcionários da fábrica: _____
4. Qual a quantidade de leite é recebido (litros/dia)? _____
5. Como é armazenado o leite? _____
6. Quais linhas de produtos de laticínios são produzidos na sua empresa?
Assinale uma ou mais opções:
 - () Queijo (diversos)
 - () Requeijão
 - () Iogurte e/ou bebida láctea
 - () Manteiga
 - () Doce de leite
 - () Outros: _____
7. Qual o número de produtos fabricados (quantidade de itens) por sua empresa?
Escolha uma opção.
 - () Entre 1 e 5
 - () Entre 6 e 10
 - () Entre 11 e 20
 - () Entre 21 e 30
 - () Entre 31 e 50
 - () 51 ou mais
8. Quantas e quais máquinas são utilizadas na fábrica?



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS

9. Qual a demanda do Posto de Vendas e do Refeitório do *campus*?

10. A sua empresa conhece todos os seus custos de produção (custos fixos, operacionais e unitários)?

Sim

Não

11. Como a sua empresa determina os custos unitários (de cada produto) de produção?

Por volume produzido de cada produto

Por centro de custo (gastos e despesas separados por setores da empresa)

Pelo custos diretos de cada produto

Pelo sistema ABC de custos (baseado em atividades)

Pelo sistema de custo-padrão

Outros

12. Qual seria o seu grau de confiança no atual método de determinação de custos utilizado pela sua empresa?

Alto

Médio

Baixo

Nenhum

13. A empresa costuma planejar a produção (programar com antecedência quais produtos vai produzir, em quais quantidades e quando ela será feita)? Por quais motivos?



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS

14. A empresa usa algum cálculo (método matemático) para fazer o planejamento da produção?
- Operador/funcionário
 - Técnico
 - Vendedor
 - Supervisor de produção
 - Gerente de produção
 - Diretor
15. O planejamento da produção da sua empresa é normalmente feito para que período de tempo (com que frequência)? Escolha uma opção.
- Diariamente
 - Semanalmente
 - Quinzenalmente
 - Mensalmente
16. A empresa utiliza algum programa de computador para ajudar no planejamento da produção?
- Editor de texto
 - Banco de dados
 - Planilha eletrônica
 - Nenhum
 - Outro: _____
17. Qual a principal dificuldade para fazer o planejamento da produção na sua empresa? Escolha uma opção.
- Planejar os materiais a serem comprados (insumos e matéria-prima)
 - Manter os níveis apropriados de estoques (de insumos e de matéria-prima)
 - Planejar quais produtos e em que quantidades produzir
 - Planejar a ordem de produção
 - Planejar quais os equipamentos (e linhas) a serem utilizados(as) para a produção
 - Planejar a mão-de-obra necessária para produção
 - Planejar vendas dos produtos



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS

18. A empresa usa algum cálculo (método matemático) para fazer o planejamento da produção (escolha do mix de produção)?
- Não
 - Sim. Qual ? _____
19. O que você acha que a sua empresa precisa para facilitar o processo de planejamento da produção (definição do mix de produção)? Escolha uma ou mais opções.
- Treinar o(s) responsável(s) pelo planejamento da produção.
 - Contratar um profissional especialista.
 - Contratar serviços de empresas de consultoria.
 - Adotar um software (programa de computador) específico para essa tarefa.
 - Outros
20. Qual seria o seu grau de confiança em um programa de computador específico que ajudasse a sua empresa a definir o mix de produção que gera o menor custo total de produção possível? Escolha uma opção.
- Alto
 - Médio
 - Baixo
 - Nenhum

APÊNDICE B – Termo de autorização para divulgação de informações



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DIVULGAÇÃO DE INFORMAÇÕES DE EMPRESAS

Empresa: Instituto Federal de Minas Gerais Campus São João Evangelista

CNPJ: 10.626.896/0006-87 Inscrição Estadual: 001.285.601-0180

Endereço completo: Av. 1º de Junho, 1043–Centro–São João Evangelista/MG – CEP: 39705-000

Representante da empresa: José Roberto de Paula

Telefone: (33) 3412-2906 e-mail: gabinete.sje@ifmg.edu.br

Tipo de produção intelectual: (x) TCC¹ () TCCE² () Dissertação () Tese

Título/subtítulo: ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LATICÍNIOS DO INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS – CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA

Autor³: LARA COELHO LACERDA Código de matrícula³: 0035254

Autor³: EDUARDO DE OLIVEIRA ALIXANDRINO Código de matrícula³: 0036684

Orientador: WESLEY GOMES DE ALMEIDA

Coorientador: ANDRÉ LUYDE DA SILVA SOUZA

Coorientador:

Curso: BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Como representante da empresa acima nominada, declaro que as informações e/ou documentos disponibilizados pela empresa para o trabalho citado:

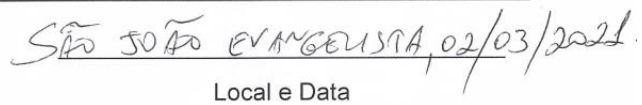
(X) Podem ser publicados sem restrição.

() Possuem restrição parcial por um período⁴ de _____ anos, não podendo ser publicadas as seguintes informações e/ou documentos: _____

() Possuem restrição total para publicação por um período⁴ de _____ anos, pelos seguintes motivos: _____



Representante da empresa



Local e Data

¹ TCC – monografia de Curso de Graduação.

² TCCE – monografia de Curso de Especialização.

³ Para os trabalhos realizados por mais de um aluno, devem ser apresentados os dados de todos os alunos.

⁴ O período de restrição parcial ou total deste Termo deve ser igual ao período definido em termo específico estabelecido entre a UTFPR e a empresa. A íntegra do resumo e os metadados ficarão disponibilizados.