

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**ALEX OLIVEIRA
ANDRÉ LUIZ HARUKI ARATA**

**APLICAÇÃO DE PESQUISA OPERACIONAL NO PROCESSO DE
PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO DE LÍQUIDO DE UMA INDÚSTRIA
CERVEJEIRA**

PONTA GROSSA

2022

**ALEX OLIVEIRA
ANDRÉ LUIZ HARUKI ARATA**

**APLICAÇÃO DE PESQUISA OPERACIONAL NO PROCESSO DE
PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO DE LIQUIDO DE UMA INDÚSTRIA
CERVEJEIRA**

**APPLICATION OF OPERATIONAL RESEARCH IN THE LIQUID PRODUCTION
SCHEDULE PROCESS OF A BEER INDUSTRY**

Trabalho de Conclusão de Curso de
graduação apresentado como requisito para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Produção da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Orientador: Prof. Dr. Fábio José Ceron
Branco.

PONTA GROSSA - PR

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ALEX OLIVEIRA
ANDRÉ LUIZ HARUKI ARATA

**APLICAÇÃO DE PESQUISA OPERACIONAL NO PROCESSO DE
PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO DE LIQUIDO DE UMA INDÚSTRIA
CERVEJEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação apresentado como requisito para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de produção da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 6 de Junho de 2022

FABIO JOSE CERON BRANCO
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

JUAN CARLOS CLAROS GARCIA
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SHIH YUNG CHIN
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA
2022

Dedico este trabalho à minha família, pelos
momentos de compreensão e apoio.

AGRADECIMENTOS

Essas próximas palavras são de agradecimento as pessoas que contribuíram durante todo o período dessa fase muito importante.

Agradeço ao nosso orientador Prof. Dr. Fabio José Ceron Branco, por toda a compreensão, sabedoria e empatia que nos ajudou a concluir essa fase importante de nossas vidas.

Meu reconhecimento a minha família por todo o apoio durante todo esse período, a quem não foi mencionado já fica aqui as desculpas por esquecimento.

A Pesquisa Operacional representa uma mudança significativa na forma como os problemas que possuem ligação com a utilização de recursos humanos e econômicos são abordados e investigados (HILLIER E LIEBERMAN, 2010).

RESUMO

Um dos desafios que as empresas possuem é ter uma gestão adequada, para poder oferecer produtos e serviços de qualidade, com uma boa estratégia de atuação que permita à empresa competir e aproveitar bem as oportunidades que o seu mercado oferece. Ter métodos e ferramentas que ajudam a ter um destaque nesse mercado competitivo pode proporcionar um destaque maior aos consumidores, atraindo assim um público consumidor maior. Com o uso de técnicas de modelagem matemática e eficientes algoritmos computacionais, a pesquisa operacional pode auxiliar na análise dos mais variados aspectos e situações de um problema complexo, permitindo a tomada de decisões efetivas e a construção de sistemas mais produtivos. A flexibilidade das aplicações e interação multidisciplinar na pesquisa operacional é reconhecida como uma área com vasta oportunidade de carreiras e de trabalhos. Assim, é importante evidenciar como a utilização da pesquisa operacional no sistema produtivo de uma indústria cervejeira pode torná-la mais competitiva no mercado. Neste contexto, este trabalho analisou a aplicação da programação na produção do processo de fabricação de líquido em uma cervejaria como forma de proporcionar um melhor direcionamento dos produtos na linha de produção, já que há uma variedade de produtos, com tempos de processo, rendimento de produção e margem por líquido. Demonstrando pela aplicação da pesquisa operacional a não utilização da capacidade total de produção do processo cerveja dessa cervejaria, pode se assim perceber que a simulação da aplicação de pesquisa operacional trouxe um retorno de R\$16.124.817,10 para 2022 e de R\$96.394.673,89 em 2021 que pode ser usado no início do plano de Planejamento e controle de produção de líquido para ser repassado as áreas para ser seguida para aplicação no operacional, atingindo o objetivo inicial do presente trabalho.

Palavras-chaves: Mercado Cervejeiro; Pesquisa Operacional; Programação Linear; Solver; Simplex; Otimização.

ABSTRACT

One of the challenges that companies have is to have adequate management, in order to offer quality products and services, with a good operating strategy that allows the company to compete and take advantage of the opportunities that its market offers. Having methods and tools that help to stand out in this competitive market can provide consumers with greater prominence, thus attracting a larger consumer audience. Through the use of mathematical modeling techniques and efficient computational algorithms, operational research can help in the analysis of the most varied aspects and situations of a complex problem, allowing effective decision-making and the construction of more productive systems. The flexibility of applications and multidisciplinary interaction operational research is recognized as an area with vast opportunities for careers and jobs. Thus, it is important to show how the use of operational research in the production system of a brewing industry can make it more competitive in the market. In this context, this work analyzed the application of programming in the production of the liquid manufacturing process in a brewery as a way to provide a better direction of the products in the production line, since there is a variety of products, with process times, production and net margin. Demonstrating by the application of operational research the non-utilization of the total production capacity of the beer process of this brewery. It can thus be seen that the simulation of the operational research application brought a return of R\$16,124,817.10 for 2022 and of R\$96,394,673.89 in 2021 that can be used at the beginning of the Liquid Production Planning and Control plan to be passed the areas to be followed for application in the operational, reaching the initial objective of the present work.

Keywords: Beer Market; Operational Research; Linear Programming; Solver; Simplex; Optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo de cerveja dentro de casa	11
Figura 2 – Inter-relações entre os Módulos Principais de um Sistema MRPII Típico ...	24
Figura 3 – Processo de fabricação de cerveja	27
Figura 4 – Fluxograma do processo de programação linear para a modelagem do problema	31
Figura 5 - Exemplo de um problema matemático de programação linear	33
Figura 6 - Problema matemático transposto para o Excel	33
Figura 7 - Problema matemático transposto para o Excel com a coluna total	34
Figura 8 - Aba “Dados” e a ferramenta “Solver”	34
Figura 9 – Parâmetros do Solver.....	35
Figura 10 – Variáveis do Problema.....	35
Figura 11 – Restrições do Problema.....	35
Figura 12 – Solução Ótima encontrada.....	36
Figura 13 - Definindo a função objetivo e variáveis no solver	40
Figura 14 – Parâmetros do Solver.....	42
Figura 15 – Resultado da função objetivo referente ao mês de janeiro.....	43
Figura 16 – Resultado referente ao número de tanques para o mês de janeiro.....	43
Figura 17 – Resultado da função objetivo referente ao mês de fevereiro	43
Figura 18 – Resultado referente ao número de tanques para o mês de fevereiro.....	43
Figura 19 - Comparativo entre volumes de produção antes e depois da aplicação de Pesquisa.....	44
Figura 20 – Comparativo lucros de janeiro e fevereiro	44
Figura 21 Resultado da função objetivo referente ao acumulado de todos os meses de 2021	44
Figura 22 – Resultado referente ao número de tanques para todos os meses de 2021	45
Figura 23 – Comparativo entre volumes de produção antes e depois da aplicação de pesquisa operacional para janeiro e fevereiro de 2022	45
Figura 24 – Comparativo lucros de janeiro e fevereiro de 2022	45
Figura 25 – Comparativo entre volumes de produção antes e depois da aplicação de pesquisa operacional para todos os meses de 2021.....	46

Figura 26 – Comparativo lucros de todos os meses de 2021 após aplicação de pesquisa operacional.	46
Figura 27 – Comparativo entres volumes planejados para produção de janeiro de 2022 e valores após aplicação da pesquisa operacional	47
Figura 28 – Comparativo entres volumes planejados para produção de fevereiro de 2022 e valores após aplicação da pesquisa operacional.	47
Figura 29 – Comparativo entres volumes planejados para produção de todos os meses de 2021 e valores após aplicação da pesquisa operacional	48
Figura 30 – Variações de volume após aplicação do Solver para os meses de janeiro e fevereiro de 2022	49
Figura 31 – Variações de volume após aplicação do Solver em todos os meses de 2021	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Dados de tempo de fermentação e maturação	12
Tabela 2 –Margem por litro, tempos de fermentação e maturação	37
Tabela 3 - Margem de lucro e quantidade produzida nos meses de janeiro e fevereiro	37
Tabela 4 – Demanda máxima e mínima	38
Tabela 5 - Número de tanques e a capacidade em litros	38
Tabela 6 – Margem de lucro e plano de produção de todos os meses de 2021	38
Tabela 7 – Demanda máxima e mínima de 2021 acumulada	39
Tabela 8 – Número máximo de tanques para a fermentação	41
Tabela 9 – Número máximo de tanques para a maturação	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ERP	Eterprise Resource Plannig
MPS	Master Production Planning
MRP	Material Requirement Planning
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PMP	Plano Mestre de Produção
PNL	Programação Não Linear
PO	Pesquisa Operacional
TOC	Theory of Constraints
TS	Testes de Sondagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivos Gerais	16
1.1.2 Objetivos específicos	16
2 REVISÃO TEÓRICA	17
2.1 Pesquisa operacional	17
2.1.1 Origem	17
2.1.2 Aplicações	17
2.1.3 Utilização de maneira estratégica nas corporações	18
2.1.4 Teoria das Restrições	19
2.1.5 Programação linear	20
2.1.6 Simplex	22
2.1.7 Problemas inteiros	23
2.1.8 Programação não-linear	24
2.2 Programação e Controle da Produção	25
2.3 Programação e Controle de Produção Cervejeira	29
3 METODOLOGIA	33
3.1 Apresentação Do Método	33
3.2 Fluxograma	34
3.2.1 Fluxograma do processo de programação linear	34
3.2.2 Definir quais dados serão necessários	35
3.2.3 Tratamento de dados	35
3.2.4 Coleta de dados	36
3.2.5 Modelagem do problema	36
3.2.6. Comparar e escolher os resultados	36
3.2.7 Modelo exemplo no Excel	37
3.3 Apresentação Dos Dados Coletados	40
3.4 Modelagem do problema	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A crescente concorrência no mercado cervejeiro e aumento no consumo de cerveja no Brasil trouxeram à indústria cervejeira o desafio de aumentar sua capacidade de produção em curto espaço de tempo para atender esta demanda, com rapidez e qualidade, trazendo a busca por ferramentas de programação para maximizar a produção e lucro de suas operações.

Possuir métodos e ferramentas que possam ajudar a ter um destaque neste mercado competitivo pode proporcionar um destaque maior aos consumidores, desta forma, pode-se atrair mais clientes. Na indústria e, conseqüentemente no mercado cervejeiro, utilizar métodos e ferramentas que possibilitem um maior destaque da marca causa um impacto considerável ao final do período.

Neste ambiente, a qualidade da cerveja e o preço acabam exercendo uma grande influência no volume de vendas, por meio de estratégias, como possuir um preço mais acessível, que direciona para qual mercado esse produto irá ter influência no nível da procura do produto pelo consumidor, será direcionado no mercado, além de influenciar a escolha entre diversas marcas.

A Pesquisa Operacional atua diretamente em um ambiente com várias variáveis, podendo gerar cenários mais palpáveis de serem analisados, ao se tomar uma determinada decisão. Visto que há uma variedade de produtos, com quantidade de produções diferentes, preço, tempo de produção e maturação da cerveja e ingredientes diferentes, faz-se necessário a utilização da linguagem de programação para observar de maneira mais rápida e objetiva, utilizando, assim, um modelo matemático devido ao número elevado de variáveis em todo o processo.

O problema de pesquisa a ser abordado neste trabalho é o planejamento e controle da produção de uma cervejaria, devido ao número elevado de variáveis como tempo de processos diferentes de cada tipo de produto, com treze líquidos diferentes sendo produzidos na cervejaria, tendo cada produto uma margem de lucro diferente, em seis tempos de processos diferentes, com número fixo de estrutura física.

Assim, é necessário realizar a elaboração de modelos matemáticos que possibilitem fornecer resultados e cenários mais assertivos, para assim, analisá-los e tomar decisões sobre qual o melhor plano para produção de líquido da cervejaria,

ocorrendo pelos dados de demanda pré-estabelecida, insumos, capacidade produtiva e margem por produto.

Segundo relatório da Euromonitor Internacional, o consumo de cerveja no Brasil em 2020 foi de 5,3% em relação a 2019, chegando ao valor total de 13,3 bilhões de litros de cerveja consumidos em 2020, sendo, aproximadamente, 650 milhões de litros de cerveja produzidos a mais que 2019. Para 2021, esperou-se um aumento de venda 300 milhões de litros de cerveja diante de 2020.

O analista da Euromonitor, Rodrigo Mattos, explica que houve um crescimento das vendas das bebidas alcólicas de uma maneira geral no país, em meio a um comportamento de busca por relaxamento e algum tipo de prazer, como também de maior indulgência do consumidor. Ou seja, de abstenção da culpa. Durante a pandemia de Covid-19, houve aumento no consumo nas casas brasileiras de acordo com a consultoria Kantar, líder mundial em dados, insights e consultoria (Figura 1).

Figura 1 – Consumo de cerveja dentro de casa

Penetração do consumo de cerveja dentro de casa

Em % dos brasileiros com mais de 18 anos



Fonte: Kantar Consultoria 2019

Assim, maximizar a produção de acordo com a margem de lucro de cada produto sem que seja necessário o aumento de capacidade física produtiva, torna-se um fator importante para se manter competitivo e não perder mercado para os concorrentes. A utilização da pesquisa operacional para criar cenários e, neste caso, maximizar a produção de acordo com a margem de cada produto, é um fator essencial para a competição a curto e médio prazo, já que o aumento de estrutura física tem tempo maior para uma resposta no aumento de capacidade. No presente trabalho,

considerou-se este objetivo devido às variáveis de custos do processo cervejeiro em sua maior porcentagem, não estando diretamente ligado à produção do líquido, e sim, ao preço de *commodities* que são negociados em dólar, e também, ao maior impacto em logística de transporte e, portanto, estes assuntos não serão abordados no presente trabalho.

O tema abordado é a utilização da pesquisa operacional no planejamento e controle de produção de líquido de uma cervejaria. Com o objetivo de maximizar a produção de acordo com margem de lucro de uma planta de produção com capacidade de quarenta tanques de armazenamento de 250.000 litros para produção, com tempo de processo diferente para cada produto o que altera a capacidade de produção, considerando treze produtos diferentes produzidos pela planta, com tempos de processos diferentes conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Dados de tempo de fermentação e maturação

	TEMPO FERMENTAÇÃO (DIAS)	TEMPO MATURAÇÃO (DIAS)	TOTAL TEMPO
MARCA A	7,5	2,5	10
MARCA B	7,5	2,5	10
MARCA C	13	3	16
MARCA D	7,5	2,5	10
MARCA E	15	3	18
MARCA F	18	2	20
MARCA G	8	3	11
MARGA H	8	3	11
MARCA I	7,5	2,5	10
MARCA J	7,5	2,5	10
MARCA K	7,5	2,5	10
MARCA L	7,5	2,5	10
MARCA M	20	3	23

Fonte: Autoria própria.

Ao todo são sete líquidos com 7,5 dias de fermentação e 2,5 de maturação, dois produtos com 8 dias de fermentação e 3 de maturação, um produto com 13 de fermentação e 3 maturação, um produto com 15 dias de fermentação e 3 de maturação, um produto com 18 dias de fermentação e 2 dias de maturação e um produto com 20 dias de fermentação e 3 de maturação, por um período de tempo acumulativo dos 12 meses de 2021, de dois meses separados de 2022 a partir do

plano de produção pré-estabelecido, com uma variação de 20% no plano inicial de produção para mais ou menos; esse fator de variação é com base em análise histórica de vendas e meta máxima para variação do plano. Todos os dados utilizados nesse trabalho de conclusão de curso foram descaracterizados, sendo multiplicados por um valor x , assim é utilizado só para fins acadêmicos, esses dados podem ser observados na tabela 2.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho é demonstrar por meio de simulação de cenário com a utilização da pesquisa operacional de se ter um melhor aproveitamento do plano de produção de líquido de uma cervejaria.

1.1.2 Objetivos específicos

Foram levantados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar quais são os recursos disponíveis para realizar o estudo deste trabalho;
- Simular e otimizar o plano de produção de líquido da cervejaria para o aumento da margem de lucro no plano inicial.
- Analisar e comparar os resultados.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 Pesquisa operacional

Este tópico irá abordar a origem, aplicações e métodos de cálculos para a montagem da lógica utilizada neste trabalho de conclusão de curso.

2.1.1 Origem

Durante a Segunda Guerra Mundial, em meio aos problemas que envolviam produção, distribuição e armazenagem, utilização de recursos humanos como alocação de mão-de-obra civil e militar, a Pesquisa Operacional (PO) foi aplicada oficialmente pela primeira vez na Inglaterra por um grupo de especialistas, entre eles Patrick Blackett, que foi considerado o pai da pesquisa operacional e o primeiro a aplicá-la no exército e na marinha (BONINI, 2015).

Com o intuito de apoiar os comandos operacionais na resolução desses problemas, foram então criados grupos multidisciplinares de matemáticos, físicos, engenheiros e cientistas sociais. Eles aplicaram o método científico aos problemas que foram a eles sendo colocados. Desenvolveram, assim, a ideia de criar modelos matemáticos, apoiados em dados e fatos, que lhes permitissem perceber os problemas em estudo, simular e avaliar o resultado hipotético de estratégias ou decisões alternativas. A Pesquisa Operacional representa uma mudança significativa na forma como os problemas que possuem ligação com a utilização de recursos humanos e econômicos são abordados e investigados (HILLIER E LIEBERMAN, 2010).

2.1.2 Aplicações

Em situações em que é preciso realizar uma análise de uma grande quantidade de dados, a pesquisa operacional é importante e muito utilizada. Pode ser aplicada em diferentes setores, como economia, física, química, setor industrial, mineração, formulação matemática com problema de mistura, ligas metálicas, agroindústria, transporte e destinação e planejamento da produção.

Nas grandes corporações como as indústrias, na qual se teve um aumento da complexidade das atividades empresariais, algumas técnicas da PO começaram a ser utilizadas com maior frequência, passando a serem conhecidas como técnicas que podem auxiliar, em larga escala, a administração de empresas. Todavia, o uso deste método na administração passa a ser uma ferramenta auxiliadora para a tomada de decisão (SIMON, 1977).

Lachtermann (2009) explica a tomada de decisão como processo em que se identifica um problema, ocorrido quando o estado atual de algo é diferente do desejado, ou uma oportunidade, ocorrida quando há a chance de se ultrapassar ou alterar objetivos. Para Goldberg e Luna (2005), os principais modelos de pesquisa operacional são denominados de programação, de acordo com as técnicas utilizadas para a resolução de modelos matemáticos, dividindo-se em: problemas lineares, sendo que as variáveis são contínuas e apresentam comportamento linear; problemas inteiros, se existir alguma variável condicionada a assumir valores discretos; problemas não-lineares, quando exibem qualquer tipo de não-linearidade.

Na maior parte das aplicações, os modelos lineares refletem apenas aproximações dos modelos reais, já fenômenos físicos ou econômicos são geralmente melhor representados por modelos não-lineares, por serem mais complexos

2.1.3 Utilização de maneira estratégica nas corporações

Segundo Lukasiak, Blazewickz, & Milostan (2010), “o domínio dos processos decisórios é crucial para as organizações, pois o nível de complexidade e competitividade aumenta gradativamente em consequência da adoção de novas tecnologias computacionais, exigindo respostas eficientes e rápidas das empresas”. Assim a tomada de decisão pode-se tornar mais eficiente quando se tem cenários construídos a partir dos dados fornecidos, alocando os recursos necessários para uma determinada linha de produção, desta forma, pode-se priorizar determinadas linhas produtivas de acordo com a estratégia do gestor.

A tomada de decisão para gestores e executivos é uma atividade extremamente relevante após a execução da estratégia organizacional (GEOFFRION; KRISHNAN, 2001), e a Pesquisa Operacional insere-se dentro deste contexto como uma prática que contém técnicas e tecnologias para otimização de recursos, tendo

como objetivo melhorar o desempenho organizacional para conseguir atingir as estratégias das empresas, ou seja, a PO tem como proposta ser uma “ferramenta” para proporcionar uma efetividade maior, por meio da correta análise de dados que podem, de maneira organizada, prover bases quantitativas para auxiliar a tomada de decisão.

2.1.4 Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições (TOC), criada e desenvolvida pelo físico israelense Eliyahu M. Goldratt na década de 1980, desenvolve uma metodologia para a administração dos processos de produção de indústrias, visando a maximização dos resultados. Através da maximização da utilização das restrições de produção afim de otimizar a capacidade produtiva da indústria, parte da ideia de que em toda empresa sempre haverá alguma restrição que limite a sua capacidade de produção.

Assim, a teoria das restrições visa focar na alocação adequada dos recursos, ou em outras palavras, ter como objetivo o foco dos esforços ser nos pontos do sistema industrial em que estes têm maior probabilidade de produzir mais efeito conforme destaca Corbett Neto (1997, p.177-8).

Aqui, o gerenciamento das restrições tem como pressuposto que todos os demais recursos da empresa possuem uma capacidade mínima de produção, superior ao recurso que está limitando todo o processo produtivo, ou seja, no processo produtivo há um gargalo que será o “agente” limitante de uma determinada linha ou etapa da produção (como por exemplo, um processo muito demorado, tendo como agente limitante o tempo de produção ou insumos escassos). Uma certa diferença de capacidade produtiva entre o recurso que está limitando o sistema e os demais recursos da empresa é necessária para proteger o recurso restrição de possíveis paradas, o que pode gerar perdas para a empresa.

Segundo Goldratt (1993), há cinco passos que irão auxiliar a identificação do recurso restrito no sistema de produção, sendo eles:

- 1) Identificar as restrições;
- 2) Decidir como explorar as restrições do sistema;
- 3) Subordinar qualquer outra coisa à decisão anterior;
- 4) Elevar as restrições do sistema;

5) Se nos passos anteriores uma restrição foi quebrada, volte ao passo 1.

Noreen, Smith, Mackey (1996, p.49) afirmam que “embora o processo de Raciocínio possa ser usado para resolver as restrições físicas e devidas a políticas, ele é especialmente valioso quando trata das últimas”, sendo o processo de raciocínio ou processo de pensamento uma ferramenta que está voltada para a otimização das restrições políticas, em que a TOC busca auxiliar ainda mais o processo de gestão das empresas, atuando fora do processo produtivo.

Além de buscar a maximização do uso das restrições, a teoria das restrições procura maximizar a lucratividade da empresa, preocupando-se também em formatar um modelo de decisão que irá auxiliar os gestores a ampliarem as capacidades das restrições através de sua administração. A aplicação da teoria das restrições neste trabalho de conclusão de curso ocorre essencialmente para auxiliar na identificação das restrições encontradas no processo de fabricação dos 10 produtos desta indústria cervejeira.

Os próximos tópicos (3.1.5 e 3.1.6) abordam os temas sobre programação linear e não linear, uma vez que se acredita que, ao realizar a elaboração do problema com todos os parâmetros e a função objetivo, eles estejam na forma de uma programação linear, todavia não se descarta a possibilidade de que se encontre problemas não lineares.

2.1.5 Programação linear

Em Programação Linear (PL), a programação tem o sinônimo o planejamento, já linear indica que as funções matemáticas do modelo são necessariamente lineares, deste modo, a PL consiste em métodos para resolver problemas de otimização com restrições em que a função objetivo é linear em relação as variáveis de controle x_1, x_2, \dots, x_n , e o domínio destas variáveis é levado por um sistema de inequações lineares.

O modelo de otimização é um esquema lógico de representação de determinado problema, organizado de forma a se obter uma solução única e ótima (LONGARAY, 2013). Tendo diversas variáveis de controle e suas restrições (como por exemplo, capacidade de produção e quantidade de insumos) que se tem o objetivo de maximizar ou minimizar esse problema matemático, levando a uma solução ótima.

O modelo é uma representação simplificada do comportamento da realidade expressa na forma de equações matemáticas que servem para simular a realidade (COLIN, 2007).

O modelo de programação linear é estruturado em uma função objetivo, uma função matemática que representa o principal objetivo do tomador de decisão, sendo que a mesma pode ser de minimização (de custos, erros, desvio de objetivos, etc) ou de maximização (de lucro, receita, utilidade, riqueza, etc), juntamente com o conjunto de restrições, que são regras que dizem quais as limitações de recursos ou atividades estão associadas ao modelo (COLIN, 2007).

Segundo Caixeta Filho (2001, p.10), a Programação Linear é o “aprimoramento de uma técnica de resolução de sistema de equações lineares via inversões sucessivas de matrizes, com a vantagem de incorporar uma equação linear adicional representativa de um dado comportamento que deva ser otimizado”. Quando se procura obter um melhor aproveitamento dos recursos restritivos da empresa, a programação linear restringe-se a identificar o melhor mix de produção, não havendo nenhum tratamento adicional aos dados encontrados, ou seja, limita-se a oferecer um resultado otimizado.

Portanto, ao fornecer o mix de produção otimizado, a PL procura oferecer também um leque de informações que, se forem corretamente analisadas pelo seu usuário, apesar de não estar amplamente estruturada, nos mesmos moldes da TOC, permite a gestão dos gargalos e sua otimização. Garcia, Guerreiro e Corrar (1997) ao elaborar-se uma otimização do mix de produção através da PL ou pela TOC, destaca que se pode obter o mesmo resultado.

Segundo Ravindran et al (1987), a programação linear segue três passos básicos, são eles:

- 1) Identifique as variáveis desconhecidas a serem determinadas (elas são denominadas variáveis de decisão) e represente-as através de símbolos algébricos (por exemplo, x e y ou x_1 e x_2);
- 2) Liste todas as restrições do problema e expresse-as como equações ($=$) ou inequações (\leq , \geq) lineares em termos das variáveis de decisão definidas no passo anterior;

3) Identifique o objetivo ou critério de otimização do problema, representando-o como uma função linear das variáveis de decisão, com o objetivo pode ser de maximizar ou minimizar.

As variáveis de decisão precisam descrever quais decisões serão tomadas, por exemplo, em uma indústria cervejeira o x_1 pode representar a quantidade de trigo disponível e x_2 a quantidade de malte e lúpulo utilizados para se produzir uma determinada bebida.

2.1.6 Simplex

O método simplex, ou algoritmo simplex, foi proposto por George Dantzig em 1947, e compreende uma ferramenta utilizada na programação linear que consiste em buscar uma ou mais soluções possíveis, gerando uma sequência destas soluções, de forma que, quando esta série é completada, a solução ótima é obtida. Em seu início, o algoritmo permitia a resolução manual de diversos problemas de PO de baixa complexidade, com o passar dos anos e a melhora nos sistemas e softwares computacionais, o algoritmo foi sendo utilizado em problemas mais complexos.

No início, o método possuía regras que garantisse a convergência finita, para que se conseguisse evitar os ciclos (repetições indefinidas de uma solução básica), e sua eficiência computacional utilizada para se resolver problemas práticos ou gerados de forma aleatória formou o chamado “folclore” do método simplex, o qual afirma que, na prática, o número de iterações requeridas é um polinômio de grau baixo em m (número de restrições) (SOUSA; SILVA; ARENALES, 2005).

Problemas de PO são usualmente modelados na forma de uma função objetivo (por exemplo, maximizar o lucro da empresa) e diversas restrições como quantidade de matéria prima e mão-de-obra. A chave do algoritmo simplex está no formato da região limitada pelas restrições, comum a todos os problemas de PO, em que delimitar o formato da região irá restringir a solução ótima em alguns pontos, diminuindo o tempo de resolução do problema, como por exemplo: um quadrado, ao se imaginar em a área delimitada pelo algoritmo seja um quadrado, se terá quatro respostas possíveis, localizada nas quatro arestas da figura delimitada. Deste modo, a busca pela solução ótima em problemas de PO passou a ser limitada a pontos extremos da

região simplex, o que permitiu o desenvolvimento de um algoritmo de baixa complexidade computacional por Dantzig.

O simplex é uma forma geométrica com uma propriedade especial, ou seja, uma linha que acabe passando por quaisquer dois pontos pertencentes à um simplex deve estar contido inteiramente dentro do simplex.

O Método Simplex compreenderá, portanto, os seguintes passos:

- 1) Achar uma solução factível básica inicial;
- 2) Verificar se a solução atual é ótima. Se for, pare. Caso contrário, siga para o passo 3);
- 3) Determinar a variável não básica que deve entrar na base;
- 4) Determinar a variável básica que deve sair da base;
- 5) Atualizar o sistema à fim de determinar a nova solução factível básica, e voltar ao passo 2.

Desta o método simplex irá entregar possíveis soluções ótimas, vale lembrar que ao utilizar a aplicação no solver (ferramenta utilizada no Excel) se terá uma única solução para os valores de restrição fornecidos, ao mudar estes valores a solução mudará também, a utilização do solver nesse presente trabalho de conclusão de curso se deve a ferramenta possuir mais acessibilidade pelas empresas e por estar dentro dos números de variáveis que foi utilizado para realizar a simulação, problemas com mais de 200 variáveis devem utilizar outra ferramenta, já que ultrapassa o limite máximo do solver.

2.1.7 Problemas inteiros

Um dos métodos de solução utilizado é o método *Branch-and-Bound* (B&B), que se baseia na ideia de desenvolver uma enumeração inteligente das soluções candidatas à solução ótima inteira de um problema. O termo *Branch* refere-se ao fato de que o método efetua partições no espaço das soluções e o termo *Bound* ressalta que a prova da otimização da solução utilizando-se de limites calculados ao longo da enumeração. O algoritmo B&B é baseado na ideia de dividir o problema em vários problemas até encontrar soluções inteiras ou não factíveis, e o ótimo é a melhor solução encontrada, ou seja, trabalhamos em problemas menores e mais fáceis de resolver em busca da solução ótima.

Baseando-se nessa ideia de “quebrar” um problema grande em vários problemas menores, um questionamento que surge é: até quando é necessário realizar a divisão do problema? Ou, como identificar o momento de parada? Para isto, se estabelece que a divisão do problema é interrompida quando uma das condições a seguir é satisfeita, sendo estas condições chamadas de testes de sondagem ou Poda do nó (TS).

O problema relaxado é infactível; a solução ótima do problema relaxado é inteira; o valor de qualquer solução factível do problema relaxado é pior que o valor da melhor solução factível atual. Assim, quando uma destas três condições ocorre, o subproblema pode ser descartado (sondado ou podado), pois todas as suas soluções factíveis estão implicitamente enumeradas (ARAÚJO, 2012).

A utilização do método simplex irá ocorrer na etapa de aplicação da ferramenta “solver” da planilha do Excel.

2.1.8 Programação não-linear

A programação não linear (PNL) é uma técnica muito utilizada, em que muitas restrições físicas ou operacionais de um sistema apresentam a característica de não-linearidade (NOGUEIRA, 2010). Assim como na programação linear, a programação não-linear envolve uma função que deve ser maximizada ou minimizada, e estará sujeita a um conjunto de restrições, em que pelo menos uma destas deve ter a característica de ser não linear, e em geral o ponto ótimo se encontra no contorno ou no interior do domínio da região de soluções viáveis (PIRES, 2018).

Os problemas de programação não-linear se aparecem de diferentes maneiras, diferente do método citado anteriormente (método simplex) utilizado para programação linear, assim, não existe um algoritmo único capaz de resolver todos esses tipos de problemas na programação não-linear (SANTOS, 2016).

Um processo em relação ao contexto da otimização clássica, uma vez que as restrições podem entrar no problema na forma de desigualdade faz-se explicitamente a introdução das condições de não-negatividade no mesmo (CHIANG, 1982).

Trabalhar com funções objetivo que tenham restrições em forma de desigualdades não lineares, sendo que tal estrutura é encontrada na PNL, por se tratar de um caso mais genérico que representa os processos analisados de forma mais

fidedigna, a complexidade da PNL comparada à PL aumenta consideravelmente (MELO, 2004).

2.2 Programação e Controle da Produção

Corrêa, Giansesi e Caon (2011, p.16) descrevem o conceito de planejamento como sendo “o tempo que necessariamente tem de percorrer desde que se toma determinada decisão até que a decisão tome efeito”.

As atividades de Planejamento e Controle da Produção (PCP) envolvem uma série de decisões com o objetivo de definir o que, quanto e quando produzir, comprar e entregar, além de quem e/ou onde e/ou como produzir. Estas decisões são imprescindíveis para o funcionamento de qualquer empresa e estão diretamente ligadas a decisões cruciais, tais como: subsidiar decisões na elaboração de contratos de fornecimento, planejamento da capacidade de médio prazo, política de horas extras e de bancos de horas, contratações e demissões no médio prazo, aquisição de novos equipamentos, dentre outras (FERNANDES; GODINHO, 2010).

Segundo Harding (apud ERDMANN, 1998, p. 15), o “planejamento da produção consiste na atividade que objetiva satisfazer as datas de entrega aos clientes com o mínimo custo total, por meio do planejamento da sequência das atividades de produção”. Já Slack et al (2002, p. 313) enfatiza que o “planejamento e controle da produção é o gerenciamento das atividades da operação produtiva, de modo a satisfazer de forma contínua à demanda dos consumidores”.

Por exercer uma atividade de coordenação, o PCP precisa desenvolver um bom relacionamento com as outras áreas funcionais da empresa, particularmente Marketing/Vendas e Produção. Vale destacar que no esforço de atender bem a essas duas grandes funções da empresa, o PCP lida com objetivos muitas vezes conflitantes (MOREIRA, 1993, p. 392). Além das dificuldades resultantes dos objetivos principais a atender, há ainda fatores restritivos que limitam a tarefa de planejamento e controle da produção. Como em qualquer operação, os recursos são finitos quando não escassos. Entre as principais restrições existentes, Slack (1997, p. 320) destaca: limitações de custos, capacidade, tempo e qualidade.

Segundo Slack et al (2002, p. 315-341) “limitações de tempo, custos, capacidade e qualidade”, tem o objetivo de atender da melhor forma possível os

planos estabelecidos nos três níveis: “estratégicos, táticos e operacionais” (TUBINO, 2000, p. 24). Para Russomano, Planejamento e Controle consistem em uma "função de apoio de coordenação das várias atividades de acordo com os planos de produção, de modo que os programas preestabelecidos possam ser atendidos nos prazos e quantidades" (RUSSOMANO, 2000, p.49).

Assim, pode-se dividir em três grandes áreas a programação de produção: estratégico, táticos e operacionais. Planejamento estratégico da produção: “...consiste em estabelecer um plano de produção para determinado período (longo prazo) segundo as estimativas de vendas e a disponibilidade de recursos financeiros e produtivos...” (TUBINO, 2000). Desta forma, a partir de um plano de longo prazo estabelecido pela empresa, colocando como restrições a capacidade produtiva e se a mesma atende a demanda pré-estabelecida a longo prazo e se a necessidade de aumentar a capacidade produtiva, reduzir a produção e afins, pode-se otimizar também a partir da planta o que será produzido conforme a necessidade e restrições de produção de forma a atender a estratégia de longo prazo da empresa.

Planejamento-mestre da produção: “...consiste em estabelecer um plano mestre de produção (PMP) de produtos finais, detalhando a médio prazo, período a período, a partir de um plano de produção, com base nas previsões de vendas de médio prazo ou nos pedidos em carteira já confirmados...” (TUBINO, 2000).

Planejamento da produção: com base no PMP e nos registros de controle de estoques, “...a Programação da produção estabelece a curto prazo quando e quanto comprar, fabricar ou montar de cada item necessário à composição dos produtos finais...” (TUBINO, 2000).

Acompanhamento e controle da produção: “...por meio de coleta e análise de dados, busca garantir que o programa de produção emitido seja executado a contento...” (TUBINO, 2000).

Assim estabelecido o plano mestre de produção, o sistema produtivo assume a responsabilidade pela entrega do mesmo. O programador de produção deve acompanhar este processo afim de identificar possíveis gargalos e oportunidades, gerando a necessidade recurso. A programação da produção estabelece a curto prazo quando e quanto comprar, fabricar ou montar de cada item necessário à composição dos produtos finais...” (TUBINO, 2000).

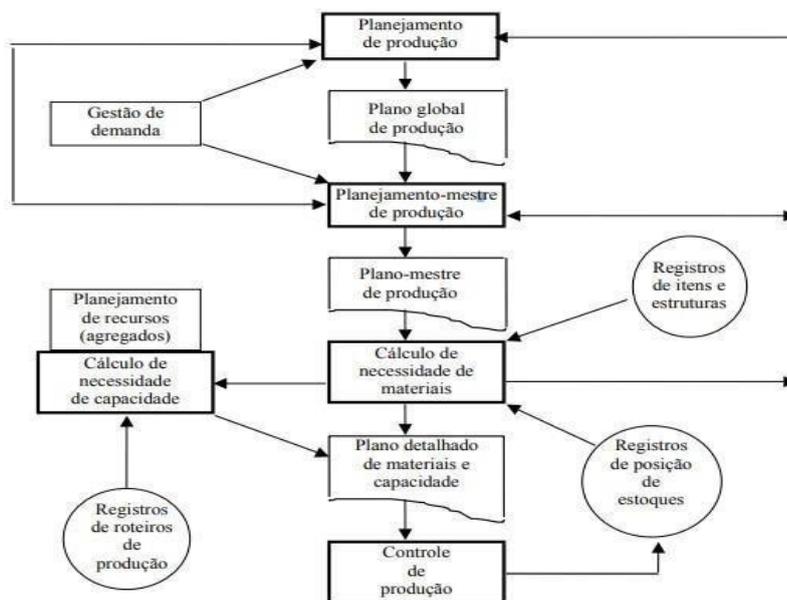
O *Material Requirement Planning* (MRP) consiste na geração da necessidade de materiais para a programação de produção se aplicando em bens e serviços. Conforme Cavalcanti e Moraes (1998, p.5), tal sistema é empregado “para planejar a capacidade produtiva, isto é, para calcular os recursos humanos e fabris necessários à manufatura das partes componentes ao produto final”, sendo assim o gerado de necessidade para o plano. Já existe o sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP) e, segundo Laurindo e Mesquita (2000, p.335), “os ERP caminharam na direção de tornarem-se cada vez mais sistemas integrados de gestão empresarial (um produto focado em TI), afastando-se da proposta inicial dos MRP”.

A aplicação destes sistemas (MRP e ERP) torna-se conveniente na medida em que se torna um instrumento de planejamento, auxiliando na tomada de decisão através da projeção de demandas, fornecendo conhecimento detalhado sobre o custo embutido em cada produto e, ainda, reduzindo a influência dos sistemas informais, ou seja, conhecimentos importantes armazenados em indivíduos específicos (MARTINS; LAUGENI, 1999; RUSSOMANO, 2000). Contudo, a preferência para sua aplicação são as fábricas que tenham como estrutura produtos, principalmente, aquelas cujas demandas são dependentes para emissão de ordem.

O MRPII, também conhecido como MRP de ciclo fechado (SCHONBERGER, 1993, p. 10; SLACK et al., 1997, p. 462) é na verdade um sistema integrado que engloba cinco módulos principais (BROWNE et al., 1988, p. 93; CORRÊA; GIANESI, 1993, p. 116): 1) Planejamento da produção; 2) Programa-mestre de produção (MPS); 3) Cálculo da necessidade de materiais (MRP); 4) Cálculo da necessidade de capacidade (CRP); 5) Controle de fábrica.

A Figura 2 demonstra o inter-relacionamento entre os cinco módulos do MRPII.

Figura 2 - Inter-relações entre os Módulos Principais de um Sistema MRPII Típico



Fonte: Côrrea e Gianesi, 1993, p. 117

Para Pedroso e Corrêa (1996), a busca da competitividade é alcançada quando se consegue reduzir os custos associados aos estoques, ao nível de utilização e variação da capacidade produtiva, e melhorar o nível de serviço percebido pelo cliente em termos de uma maior velocidade de entrega, uma melhor pontualidade nos prazos acordados e um aumento de flexibilidade em relação às variações da demanda e dos recursos produtivos.

Ching (2010) afirma que uma organização só irá sobreviver em um ambiente turbulento se oferecer resultados compatíveis com as necessidades e as expectativas de seus clientes, visando, desta forma, bom atendimento, agilidade, preço e qualidade.

Tubino (1997) considera que o PCP é responsável pela coordenação e aplicação de recursos produtivos de forma a atender da melhor maneira possível os planos estabelecidos em níveis estratégico, tático e operacional, visando reduzir gastos, otimizar tempo e maximizar os resultados através da adequação do processo produtivo.

Pode-se assim mostrar a importância do planejamento de programação de produção, o que se aplica à indústria cervejeira, que tem uma programação de produção com grande variação de demanda e complexidade e grande concorrência,

necessitando ter uma programação de produção que otimize o máximo a produção, reduzindo o consumo de recursos e atenda a mix e prazo da entrega para o cliente.

2.3 Programação e Controle de Produção Cervejeira

Com um mercado cada vez mais competitivo, mix maior, produtos mais complexos e clientes buscando maior qualidade na cerveja, a programação e controle de produção tem papel importante no sucesso de uma cervejaria, na previsão de demanda, no planejamento de insumos, na programação de produção na planta da cervejaria e o controle para o que mesmo seja atendido com o produto correto e no tempo certo para o cliente.

Para Slack et al (2013), a função produção é uma das funções centrais da organização e que quando desenvolvida e inter-relacionadas com os outros departamentos possibilita melhores resultados para a organização. Uma organização é composta por várias funções, cada qual com a responsabilidade de dar apoio à empresa na realização de suas atividades e no alcance dos resultados almejados.

Para que o papel da Administração da Produção seja cumprido, é necessário que esta tenha seus próprios objetivos e estratégias e que estes estejam de acordo com a estratégia global da organização. Por isto é importante compreender de que maneira a função produção contribui para a competitividade da organização, o que depende de um eficiente gerenciamento desta função (MOREIRA, 2012).

Pode-se assim perceber a importância da programação e controle de produção em uma cervejaria, com o aumento no número de produtos, o uma complexidade maior na produção do mesmo, sendo necessário que o planejamento da produção seja o mais eficiente possível, desta maneira chegando a uma melhor forma para a estratégia da empresa, seja ela aumentar o volume produzido ou mesmo atender a um volume menor com a margem maior, sendo assim possível chegar ao melhor resultado.

O sistema de produção organiza o conjunto de recursos, sendo tecnológicos, econômicos, pessoal, equipamentos, instalações, processos e procedimentos, alcançando a transformação de recursos naturais, adquiridos direta ou indiretamente com seus fornecedores, em produtos que supre às necessidades de seus consumidores, agregando valor através da mão-de-obra, de outros recursos naturais,

bens e serviços, em que compreende e atende, em distintos graus e naturezas, às demandas sociais, econômicas e financeiras do setor envolvido (KOPAK, 2003).

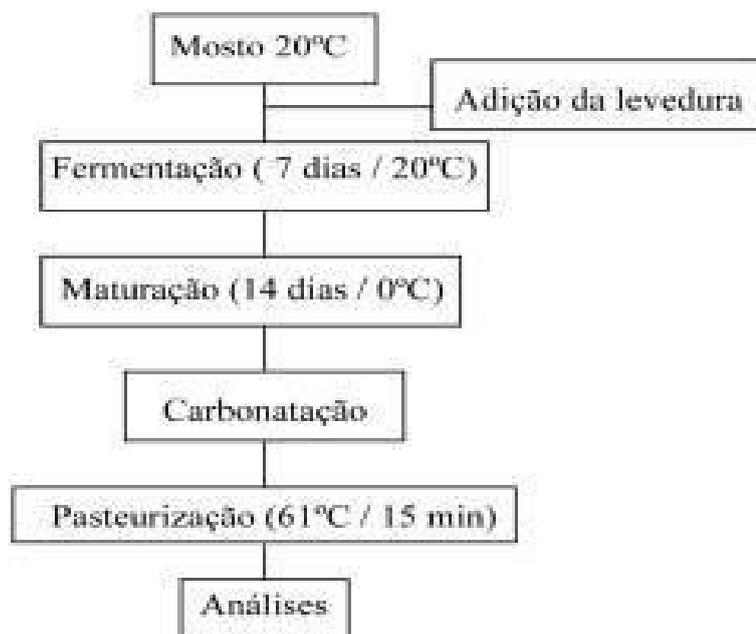
Na programação e controle de produção de uma cervejaria, há muitas variáveis para o planejamento da mesma, com uma demanda que possui variação constante, flexibilidade na programação, sendo a simulação de vários cenários contemplando mão de obra, recurso naturais, bens e serviços demanda, situação econômica, essenciais para o sucesso do plano. Assim, ao estabelecer objetivos, há a necessidade de transcorrer planos para o gerenciamento de todos os recursos disponíveis da organização, executando ações para atingir os objetivos propostos (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2013).

Nos últimos 20 anos, o número de cervejarias registradas no Brasil aumentou, com crescimento médio de 19,6 %, segundo dados disponibilizados pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). O Brasil ocupa a terceira posição no ranking de maiores produtores de cerveja, ficando atrás apenas da China e dos Estados Unidos, de acordo com os dados de 2018, divulgados pela MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento).

Segundo SINDICERV (Sindicato nacional da indústria de bebidas), atualmente é estimado em mais de 20 mil tipos de cervejas no mundo, de modo que pequenas mudanças no processo de fabricação, como tempo de processo, ingredientes, temperatura de cozimento, fermentação e maturação podem levar a vários tipos de cerveja.

Segundo Deliberalli (2015), as cervejas podem ser classificadas por cinco características básicas, sendo elas: 1) Cor, que pode variar de clara a escura de acordo com a torra do malte; 2) Teor alcoólico, que varia com o teor de açúcares fermentescíveis; 3) Proporção de malte de cevada e trigo sua composição; 4) Teor de extrato primitivo, que é a densidade original do mosto antes de ser fermentado, podendo ser leve, comum, extra e forte; 5) Tipo de fermentação, que pode ser espontânea, alta ou baixa. A Figura 3 demonstra o processo de fabricação de cerveja de maneira resumida.

Figura 3 – Processo de fabricação de cerveja



Fonte: Rogerio & Moretti (2008)

Apesar de existirem variações na forma de elaboração dependendo do tipo de cerveja a ser produzida, o processo é composto basicamente por quatro etapas definidas:

- 1) malteação (germinação da cevada);
- 2) produção do mosto cervejeiro (extração e hidrólise dos componentes da cevada malteada seguido de uma separação dos componentes insolúveis e posterior fervura com a adição de lúpulo);
- 3) fermentação (dividida em fermentação primária e maturação);
- 4) processamento final (filtração, estabilização, engarrafamento, etc.) (LINKO et al., 1998).

Dentre as estratégias de diferenciação, as firmas alcançam vantagem competitiva mediante a oferta de produtos e serviços que contenham as qualidades desejadas pelos consumidores e que, ao mesmo tempo, sejam diferentes dos produtos ou serviços oferecidos pelos concorrentes (PONTES, 2009).

Com toda esta complexidade, a utilização de ferramentas de gestão e tecnologia são de extrema importância para a programação e controle de produção, com uma indústria de bilhões de litros de cerveja produzida e com concorrência cada vez maior e clientes mais exigentes, sendo necessário ter uma previsão de demanda

mais assertiva e, a partir desta, a programação de produção mais eficiente possível para a estratégia da empresa para que seja um diferencial para o sucesso do plano.

Nas pesquisas efetuadas para o presente trabalho de conclusão de curso, não foram encontrados trabalhos diretamente relacionados a utilização de pesquisa operacional da programação de produção de líquido de uma cervejaria.

3 METODOLOGIA

Este tópico aborda a metodologia utilizada neste trabalho.

3.1 Apresentação Do Método

Método científico pode ser definido como um conjunto de etapas e instrumentos pelo qual o pesquisador científico direciona seu projeto de trabalho, com critérios de caráter científico para alcançar dados que suportam ou não sua teoria inicial (CIRIBELLI, 2003).

De acordo com Oenning (2007), os métodos de pesquisa usualmente adotados para coleta de dados, incluem técnica de elaboração e avaliação de entrevistas, observação, questionário contendo perguntas abertas, perguntas fechadas e de múltiplas escolhas e formulários, sendo estes adotados pelo pesquisador baseado no tipo de pesquisa a ser realizada.

Existem sete tipos diferentes de pesquisas científicas, sendo elas:

1) pesquisa exploratória, que busca se familiarizar com os fenômenos surgidos durante a pesquisa, explorando os próximos passos mais profundamente e com maior precisão;

2) pesquisa experimental, que envolve experimentos de qualquer natureza que possam auxiliar no desenvolvimento da pesquisa;

3) pesquisa acadêmica, que é realizada em uma instituição de ensino visando, na maioria das vezes, um conhecimento específico para determinada disciplina docente;

4) pesquisa empírica, aquela realizada em qualquer ambiente;

5) pesquisa de campo, aquela baseada na coleta de fenômenos que ocorrem na realidade a ser pesquisada;

6) pesquisa laboratorial, que ocorrem em situações controladas, na maioria das vezes um ambiente fechado como um laboratório, onde se pode controlar as condições ideais para desenvolvimento da pesquisa; e

7) pesquisa teórica, baseada na análise de determinada teoria, utilizando para tal embasamentos, também teóricos e não experimentais.

O presente trabalho de conclusão de curso se enquadra como pesquisa de campo, através de uma análise de dados de uma demanda empurrada pré-estabelecida de uma cervejaria, utilizando-se da programação linear para a modelagem do problema, utilizando a ferramenta de programação para a solução. Há a finalidade aplicada do trabalho em questão e o objetivo da pesquisa descritivo, baseado em um referencial teórico.

A abordagem do trabalho é quantitativa, por utilizar dados para a aplicação em um estudo de caso em uma cervejaria, sendo o método utilizado o hipotético dedutivo, utilizando-se um estudo de caso e estabelecendo hipóteses para a solução do mesmo e utilizando uma pesquisa para se comprovar a veracidade da sua solução.

Para a coleta de dados, utilizou-se a demanda já estabilizada que possui demanda empurrada, que foi disponibilizada pela empresa, sem que a mesma tenha seu nome atribuído ao trabalho, e os dados foram descaracterizados, multiplicados por um valor x e utilizados para fins acadêmicos. Há restrições de produção como capacidade de produção dos equipamentos, quantidade de funcionários, jornada de trabalho, matéria prima, tempo de processo, entre outras. Para as variáveis para tomada de decisão, foi utilizado os custos de produção e preço de venda. Todos os dados foram disponibilizados em formato de dados Excel, utilizando uma base de dados de dois meses de produção.

3.2 Fluxograma

Fluxograma é uma ferramenta de representação gráfica nas quais etapas são organizadas de forma sequencial, utilizado para representar o fluxo de atividades de um processo podendo descrever um projeto, processo, sistema, fluxo de trabalho ou estudo.

3.2.1 Fluxograma do processo de programação linear

A Figura 4 é um fluxograma das etapas anteriores e posteriores deste estudo de caso.

Figura 4 – Fluxograma do processo de programação linear para a modelagem do problema



Fonte: Autoria própria

A primeira etapa “Entender o problema” foi realizada e descrita na introdução deste trabalho de conclusão de curso. Nos próximos subtópicos, são descritos cada etapa desse fluxograma.

3.2.2 Definir quais dados serão necessários

Nesta etapa, foram definidos os dados que foram utilizados no modelo matemático, neste caso, foram selecionados: capacidade de produção dos equipamentos, quantidade de funcionários, jornada de trabalho, matéria prima, tempo de processo e demanda máxima e mínima.

3.2.3 Tratamento de dados

A etapa de “tratamento de dados” permite uma facilidade maior na organização de informações e a implementação de uma padronização na coleta, manipulação e armazenamento. Foi coletado os dados em formato Excel do plano inicial de produção, os dados foram multiplicados por um fator x para ser descaracterizados, separados em todos os meses de 2021 e depois separados os meses de janeiro e fevereiro de 2022.

3.2.4 Coleta de dados

Após “escalar” quais dados seriam utilizados, fez-se necessário realizar a coleta dos mesmos, desta forma, como foi descrito anteriormente, a base de dados foi recolhida e disponibilizada em formato de dados Excel, no tipo XLSX, utilizando uma base de dados dos meses de janeiro e fevereiro de 2022 e de todos os meses de 2021, de produção, todos os dados são descaracterizados multiplicando por um valor x , sendo utilizados apenas para fins acadêmicos.

3.2.5 Modelagem do problema

Esta etapa foi responsável por traduzir as características do problema para as equações na forma de uma modelagem, ou seja, foi proposto um modelo matemático que descreveu as ações e processos que ocorrem na linha de produção do produto.

Foi importante definir as etapas de decisão, uma vez que através desta descrição foi definido quais foram as variáveis e em quais unidades de tempo e medida foram sendo trabalhados. Todas as variáveis de decisão presentes na modelagem estão especificadas nesta descrição, desta forma, é possível compreender quais são essas variáveis e o que está sendo modelado, em uma análise futura.

A meta sempre está relacionada a maximizar ou minimizar algo, sendo esta meta denominada Função Objetivo. Em um modelo matemático, há apenas uma única função objetivo, e os objetivos podem ser: maximizar lucros, faturamento, quantidade vendida, pedidos atendidos, minimizar custos, tempos de deslocamento e distância. Para este estudo de caso, foram utilizados: a maximização de lucro, quantidade vendida e minimização de custos.

Por fim, tem-se as classes de restrições, compostas pelos números de tanques, volume dos tanques, demanda máxima e mínima para cada líquido e tempos de processo de cada líquido.

3.2.6. Comparar e escolher os resultados

A interpretação dos resultados é um momento importante da solução encontrada, uma vez que, ao se interpretar corretamente os resultados gerados pelo

solver, contribui-se para: compreender melhor o comportamento de seu modelo; entender os resultados gerados; encontrar as restrições que podem limitar uma solução melhor; identificar quais as possibilidades de alteração dos valores das variáveis sem alteração da solução encontrada.

A interpretação dos resultados pode influenciar na tomada de decisão nas empresas. Realizar esse processo de maneira adequada, certamente garantirá um diferencial competitivo no mercado em que a empresa/indústria se encontra.

3.2.7 Modelo exemplo no Excel

Ao aplicar o método apresentado no Excel, faz-se necessário representar nas células da planilha o problema matemático proposto, sendo assim, estão representados na planilha a função objetivo, as variáveis de decisão, os coeficientes de restrições, seus limites e quais serão as restrições.

Neste tópico, é apresentado um problema matemático que foi adaptado para a utilização da ferramenta solver no Excel, cujo objetivo foi exemplificar o método apresentado. Essa ferramenta foi escolhida por ser mais acessível e de fácil utilização pelas empresas, problemas com mais de 200 variáveis devem utilizar outra ferramenta já que ultrapassa o limite máximo de variáveis do Solver. A Figura 5 representa um problema de programação linear.

Figura 5 - Exemplo de um problema matemático de programação linear

$$\text{Max lucro}(x_1, x_2) = Z = x_1 + 1.5x_2$$

Sujeito a:

$$\begin{cases} 2x_1 + 2x_2 \leq 160 \\ x_1 + 2x_2 \leq 120 \\ 4x_1 + 2x_2 \leq 280 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Fonte: NOGUEIRA, F. Pesquisa Operacional – Tutorial sobre softwares.

A Figura 6 representa a transcrição do problema matemático proposto para o Excel.

Figura 6 - Problema matemático transposto para o Excel

RESTRICÇÕES	COEFICIENTES DE RESTRICÇÕES		Sinal	
	a1	a2		
RESTRICÇÃO 1	2	2	<=	160
RESTRICÇÃO 2	1	2	<=	120
RESTRICÇÃO 3	4	2	<=	280
Lucro	1	1,5		
Solução	0	0		

Fonte: Autoria própria

Fez-se necessário a utilização da fórmula “somarproduto”, para se obter em uma única célula a expressão “ $a_1x_1+a_2x_2$ ”, deste modo, estas fórmulas foram alocadas na coluna “Total” (Figura 7).

Figura 7 - Problema matemático transposto para o Excel com a coluna total

RESTRICÇÕES	COEFICIENTES DE RESTRICÇÕES		Total	Sinal	
	a1	a2			
RESTRICÇÃO 1	2	=SOMARPRODUTO(C5:D5;\$C\$9:\$D\$9)			
RESTRICÇÃO 2	1	2	0	<=	120
RESTRICÇÃO 3	4	2	0	<=	280
Lucro	1	1,5	0		
Solução	0	0			

Fonte: Autoria própria

Com o problema matemático ajustado na planilha do Excel, foi utilizada a ferramenta solver, que se encontra na aba “Dados” (Figura 8).

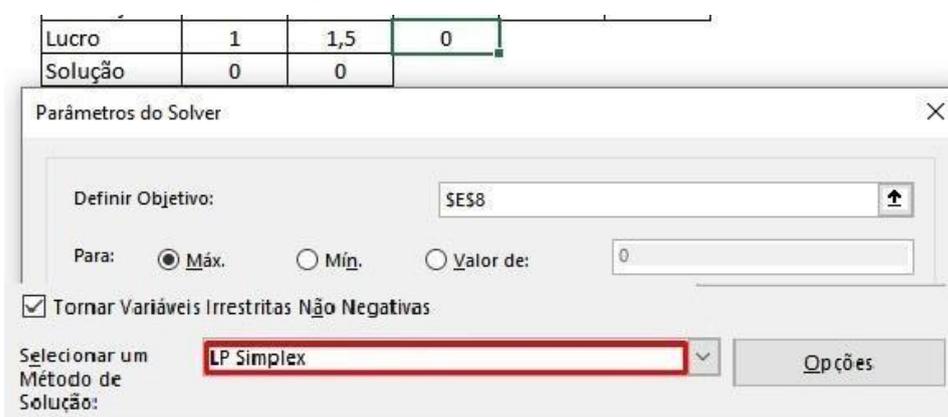
Figura 8 - Aba “Dados” e a ferramenta “Solver”



Fonte: Autoria própria

Ao abrir o solver, foi preciso verificar os parâmetros da ferramenta, como minimização ou maximização, qual a célula objetivo e o método de aplicação (Figura 9).

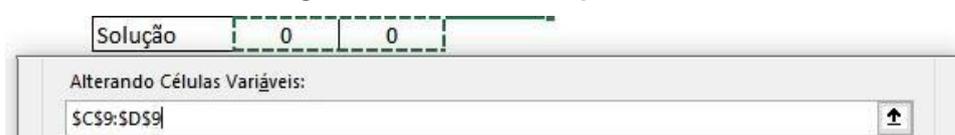
Figura 9 - Parâmetros do solver



Fonte: Autoria própria

Com os parâmetros ajustados, foi informado quais foram as variáveis deste problema (Figura 10).

Figura 10 - Variáveis do problema



Fonte: Autoria própria

Por fim, foram informadas as expressões (alocadas na coluna total) e suas restrições (Figura 11).

Figura 11 – Restrições do problema

Total	Sinal	
0	<=	160

Adicionar Restrição ×

Referência de Célula: ↑ Restrição: ↓ ↑

Fonte: Autoria própria

Desta forma, o solver apresentou como resultado a solução ótima encontrada (Figura 12).

Figura 12 – Solução ótima encontrada

RESTRIÇÕES	COEFICIENTES DE RESTRIÇÕES		Total	Sinal	
	a1	a2			
RESTRIÇÃO 1	2	2	160	<=	160
RESTRIÇÃO 2	1	2	120	<=	120
RESTRIÇÃO 3	4	2	240	<=	280
Lucro	1	1,5	100		
Solução	40	40			

Fonte: Autoria própria

A partir dos resultados obtidos, foi possível observar qual ou quais das restrições foram fatores limitantes no resultado atingido, no caso deste exemplo, os fatores foram as restrições 1 e 2, uma vez que se utilizou todo o recurso disponível.

3.3 Apresentação Dos Dados Coletados

Não foi mencionado o nome dos produtos das marcas analisadas, portanto, estas estão retratadas com um número seguido pelas abreviações MS (*mainstream*) e PM (puro malte).

Foram escolhidos 13 produtos para se analisar e, destes, os dados coletados foram: quantidade de litros produzidos nos meses de janeiro e fevereiro de 2022 e todo o ano de 2021 consolidado para cada marca, os lucros correspondentes ao período de estudo, os tempos de maturação e fermentação (em dia), a margem de lucro por litro, a demanda máxima e mínima dos meses de janeiro e fevereiro de 2022

e todos os meses de 2021 (foram calculadas aplicando uma margem de 20% em cima da produção dos dados fornecidos em ambos os casos, com base em estatísticas de vendas) e o número de tanques.

Encontram-se nas Tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 os dados coletados mencionados.

Tabela 2 –Margem por litro, tempos de fermentação e maturação

	TEMPO FERMENTAÇÃO (DIAS)	TEMPO MATURAÇÃO (DIAS)	TOTAL TEMPO	MARGEM POR LITRO (R\$/L)
MARCA A	8	3	10	R\$ 0,88
MARCA B	8	3	10	R\$ 0,74
MARCA C	13	3	16	R\$ 2,00
MARCA D	8	3	10	R\$ 0,75
MARCA E	15	3	18	R\$ 1,75
MARCA F	18	2	20	R\$ 1,80
MARCA G	8	3	11	R\$ 1,60
MARCA H	8	3	11	R\$ 1,50
MARCA I	8	3	10	R\$ 0,64
MARCA J	8	3	10	R\$ 0,90
MARCA K	8	3	10	R\$ 0,78
MARCA L	8	3	10	R\$ 0,44
MARCA M	20	3	23	R\$ 2,20

Fonte: Autoria própria

Tabela 3 - Margem de lucro e quantidade produzida nos meses de janeiro e fevereiro

Marca	Mês		LUCRO JANEIRO	LUCRO FEVEREIRO
	Jan	Fev		
MARCA A	7316337	5975713	R\$ 6.438.376	R\$ 5.258.628
MARCA B	7419907	5058571	R\$ 5.490.731	R\$ 3.743.342
MARCA C	5151340	4957142	R\$ 10.302.680	R\$ 9.914.284
MARCA D	2779997	2405715	R\$ 2.084.997	R\$ 1.804.286
MARCA E	3371142	2437144	R\$ 5.899.498	R\$ 4.265.001
MARCA F	721429	2714286	R\$ 1.298.572	R\$ 4.885.715
MARCA G	2299053	2491429	R\$ 3.678.485	R\$ 3.986.286
MARCA H	1206337	1715715	R\$ 1.809.506	R\$ 2.573.572
MARCA I	1657139	1600000	R\$ 1.060.569	R\$ 1.024.000
MARCA J	1808572	1325715	R\$ 1.627.715	R\$ 1.193.144
MARCA K	1104196	914286	R\$ 861.273	R\$ 713.143
MARCA L	314284	300000	R\$ 138.285	R\$ 132.000
MARCA M	199999	0	R\$ 439.997	R\$ -
Total	35349731	31895716	R\$ 41.130.684	R\$ 39.493.402

Fonte: Autoria própria

Tabela 4 – Demanda máxima e mínima

Marca	janeiro		fevereiro	
	min	max	min	max
MARCA A	5853070	8779604	4780571	7170856
MARCA B	5935925	8903888	4046857	6070285
MARCA C	4121072	6181608	3965714	5948571
MARCA D	2223997	3335996	1924572	2886858
MARCA E	2696913	4045370	1949715	2924572
MARCA F	577143	865714	2171429	3257143
MARCA G	1839242	2758863	1993143	2989714
MARCA H	965070	1447605	1372572	2058857
MARCA I	1325711	1988567	1280000	1920000
MARCA J	1446858	2170287	1060572	1590859
MARCA K	883357	1325035	731429	1097143
MARCA L	251427	377141	240000	360000
MARCA M	159999	239998	0	0
Total	28279784	42419677	25516573	38274859

Fonte: Autoria própria

Tabela 5 - Número de tanques e a capacidade em litros

	NUMEROS DE TANQUES	
CAPACIDADE	40	250000
FERMENTAÇÃO	30	250000
MATURAÇÃO	10	250000

Fonte: Autoria própria

Tabela 6 - Margem de lucro e plano de produção de todos os meses de 2021

Marca	Meses referente ao ano de 2021												Total Geral	Lucro R\$	
	Litros produzidos														
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ			
MARCA A	1745915	2146366	1009439	2623495	2801817	1999749	1726966	2408788	1998642	1863136	2236138	1980616	24541065	R\$	21.596.137
MARCA B	3332456	3956361	2782752	2958944	3361756	3100398	2049805	3315809	2806329	2150245	3146378	3111762	36072995	R\$	26.694.016
MARCA C	0	0	0	0	0	0	0	753703	459876	453800	632100	1093200	3392679	R\$	6.785.357
MARCA D	13144441	9473583	8007980	7993428	8210430	4103615	8721720	8136498	8340620	9215485	10863529	11838479	108049809	R\$	81.037.357
MARCA E	2765255	2718118	877114	1322044	2581272	2170556	4607973	3743330	4042753	4369901	3625418	3414290	36238023	R\$	63.416.540
MARCA F	2727741	2085193	800879	1343290	1982253	1393270	818874	1879780	955990	544210	1155609	918304	16605394	R\$	29.889.709
MARCA G	3200059	2200478	1990898	505420	1444521	1318377	1750375	2031286	1444477	1346918	1410433	1104140	19747381	R\$	31.595.810
MARCA H	6325936	7762329	11797881	10736194	9758585	7104395	9222556	10753753	10687300	10177013	11945004	12833753	119104698	R\$	178.657.048
MARCA I	2799997	2399997	873328	850000	431548	342722	403918	491225	400000	423800	542300	1126900	11085734	R\$	7.094.870
MARCA J	245465	474129	906541	1086809	1352610	1011062	1717982	1302139	863341	646902	817157	490405	10914540	R\$	9.823.086
MARCA K	1966352	2075206	2226750	730140	1572629	1303823	1000714	1451131	548342	157981	640101	306449	13979621	R\$	10.904.104
MARCA L	1038533	1051794	1013061	1000000	834672	764863	754479	859791	750000	675800	721100	1186039	10650131	R\$	4.686.058
MARCA M	80265	412429	417258	600000	470904	223825	214678	246858	325000	258600	897500	304172	4451490	R\$	9.793.279
Total	39372415	36755983	32703879	31749765	34802997	24836655	32990040	37374091	33622668	32283791	38632766	39708510	414833559	R\$	481.973.369

Fonte: Autoria própria

Tabela 7 - Demanda máxima e mínima de 2021 acumulada

Meses referente ao ano de 2021															Total Geral	mín	max
Litros produzidos																	
Marca	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total Geral	mín	max		
MARCA A	1745915	2146366	1009439	2623495	2801817	1999749	1726966	2408788	1998642	1863136	2236138	1980616	24541065	19632852	29449278		
MARCA B	3332456	3956361	2782752	2958944	3361756	3100398	2049805	3315809	2806329	2150245	3146378	3111762	36072995	28858396	43287593		
MARCA C	0	0	0	0	0	0	0	753703	459876	453800	632100	1093200	3392679	2714143	4071214		
MARCA D	13144441	9473583	8007980	7993428	8210430	4103615	8721720	8136498	8340620	9215485	10863529	11838479	108049809	86439847	129659771		
MARCA E	2765255	2718118	877114	1322044	2581272	2170556	4607973	3743330	4042753	4369901	3625418	3414290	36238023	28990418	43485627		
MARCA F	2727741	2085193	800879	1343290	1982253	1393270	818874	1879780	955990	544210	1155609	918304	16605394	13284315	19926473		
MARCA G	3200059	2200478	1990898	505420	1444521	1318377	1750375	2031286	1444477	1346918	1410433	1104140	19747381	15797905	23696857		
MARCA H	6325936	7762329	11797881	10736194	9758585	7104395	9222556	10753753	10687300	10177013	11945004	12833753	119104698	95283759	142925638		
MARCA I	2799997	2399997	873328	850000	431548	342722	403918	491225	400000	423800	542300	1126900	11085734	8868587	13302881		
MARCA J	245465	474129	906541	1086809	1352610	1011062	1717982	1302139	863341	646902	817157	490405	10914540	8731632	13097448		
MARCA K	1966352	2075206	2226750	730140	1572629	1303823	1000714	1451131	548342	157981	640101	306449	13979621	11183697	16775545		
MARCA L	1038533	1051794	1013061	1000000	834672	764863	754479	859791	750000	675800	721100	1186039	10650131	8520105	12780157		
MARCA M	80265	412429	417258	600000	470904	223825	214678	246858	325000	258600	897500	304172	4451490	3561192	5341788		
Total	39372415	36755983	32703879	31749765	34802997	24836655	32990040	37374091	33622668	32283791	38632766	39708510	414833559	331866847	497800271		

Fonte: Autoria própria

O estudo deste trabalho é baseado nos dados coletados das 13 marcas nos meses de janeiro e fevereiro de 2022 e de todos os meses acumulados de 2021, o estudo irá observar e analisar qual será a maneira mais eficiente de se atender as necessidades de demanda de acordo com a capacidade produtiva do número de tanques disponíveis e os insumos. Na tabela 2 temos os tempos de processo e a margem por produto, na tabela 3 os valores de lucro antes da utilização do solver dos meses de janeiro e fevereiro de 2022, na tabela 4 os valores de demanda máxima e mínima para produção de cada produto para os meses de janeiro e fevereiro de 2022, na tabela 5 os valores de capacidade estrutural de tanques da cervejaria na tabela 6 e 7 os valores de lucro de todos meses de 2021 e os valores máximo de e mínimo para produção de cada produto.

3.4 Modelagem do problema

Com base nos dados apresentados no tópico anterior, foi modelada, primeiramente, a função objetivo e, em seguida, foram colocadas as restrições que iriam influenciar nesta função.

Sendo a função objetivo:

$$Z = a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + \dots + a_{13} \cdot x_{13} \quad (1)$$

Onde:

- Z é a função objetivo;

- a n representa os coeficientes de preço da margem de lucro por litro;
- X_n são a quantidade de litros de cada marca (variáveis).

Após definir a função objetivo e quais foram as variáveis do problema, os mesmos foram alocados nos parâmetros do solver (Figura 13).

Figura 13 - Definindo a função objetivo e variáveis no solver



Fonte: Autoria própria

Importante destacar que para este cenário foi definido a maximização da função objetivo, desta forma foi informado o maior lucro possível.

Para as restrições, foram definidas: as restrições para o tempo de fermentação e maturação e a capacidade total. Com as restrições definidas e ajustadas no Excel, foi mais rápido e prático para se inserir no solver.

Essas restrições possuem as seguintes equações:

Número de tanques de fermentação (T_f) e de maturação (T_m):

$$T_{fn} = (X_n \cdot 25000) \quad T_{fn} = X_n \cdot 25000 \quad (2)$$

$$T_{mn} = (X_n \cdot 25000) \quad T_{mn} = X_n \cdot 25000 \quad (3)$$

Sendo que 25.000 é a capacidade de cada tanque.

Assim, tem-se que o total (T_t) de tanques usados foi:

$$T_{tn} = T_{fn} + T_{mn} \quad T_{tn} = T_{fn} + T_{mn} \quad (4)$$

Para o limite máximo de tanques utilizado para cada marca, foi realizado a contagem manual em um calendário. As Tabelas 8 e 9 representam o número de tanques máximos que podem ser utilizados em cada marca.

Tabela 8 – Número máximo de tanques para a fermentação

Fonte: Autoria própria.

Tabela 9 – Número máximo de tanques para a maturação

Fonte: Autoria própria.

Como pode ser observado, o número de tanques máximo foi calculado da seguinte forma:

- $NT_{fn} = nR * X_n$ (5)
- $NT_{mn} = nR * X_n$ (6)

Sendo:

- NT_f : o número máximo de tanques de fermentação;
- NT_m : o número máximo de tanques de maturação;
- NR : o número de repetições em um mês que podem ser realizadas para cada marca.

Com isso, foi realizado o limite para cada uma das restrições. Assim se tem que:

- $Demanda\ Min \leq X_n \leq Demanda\ Max$;
- $T_{tn} \leq NT_{fn}$ (7)

Desta forma, tem-se que as quantidades produzidas, em litros, por cada marca foi definida pela demanda em litros de cada mês. Em relação ao número de taques, sua restrição está definida pela sua quantidade máxima de tanques disponíveis no mês.

Ao transferir essa linguagem matemática para o solver, tem-se que (Figura 14):

Figura 14 – Parâmetros do solver

Parâmetros do Solver

Definir Objetivo:

Para: Máx. Mín. Valor de:

Alterando Células Variáveis:

Sujeito às Restrições:

Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de Solução:

Método de Solução

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

Ajuda Resolver Fechar

Fonte: Autoria própria

Este método aplicado para o mês de janeiro foi repetido para o mês de fevereiro, utilizando a base de dados do mesmo, produzindo-se, assim, resultados distintos para cada um deles.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao aplicar o método simplex na tabela foi obtido três resultados, um para o mês de janeiro de 2022, fevereiro de 2022 e acumulado de 2021 de todos os meses do ano, esses resultados de ambas as funções objetivos, a quantidade em litros que será necessária para que se atinja este resultado e o número de tanques necessários, que se encontram nas Figuras 15, 16, 17 18, 19 e 20.

Figura 15 – Resultado da função objetivo referente ao mês de janeiro

Função objetivo	R\$ 49.356.820,64	Diferença em relação ao mesmo mês sem a aplicação do método	R\$ 8.226.136,77									
Variáveis(Litros)												
MARCA A	MARCA B	MARCA C	MARCA D	MARCA E	MARCA F	MARCA G	MARCA H	MARCA I	MARCA J	MARCA K	MARCA L	MARCA M
8779604	8903888	6181608	3335996	4045370	865714	2758863	1447605	1988567	2170287	1325035	377141	239998

Fonte: Autoria própria

A figura 15 mostra resultado da função Objetivo do mês de janeiro, obteve um valor de R\$49 milhões de margem final, R\$ 8,2 milhões maior que o resultado antes da simulação com a ferramenta Solver.

Figura 16 – Resultado referente ao número de tanques para o mês de janeiro

Tempo de fermentação e maturação												
MARCA A	MARCA B	MARCA C	MARCA D	MARCA E	MARCA F	MARCA G	MARCA H	MARCA I	MARCA J	MARCA K	MARCA L	MARCA M
70	71	49	27	32	7	22	12	16	17	11	3	2

Fonte: Autoria própria

A figura 16 mostra o números de tanque utilizados por marca no mês de janeiro de 2022

Figura 17 – Resultado da função objetivo referente ao mês de fevereiro

Função objetivo	R\$ 47.392.081,98	Diferença em relação ao mesmo mês sem a aplicação do método	R\$ 7.898.680,33									
Variáveis(Litros)												
MARCA A	MARCA B	MARCA C	MARCA D	MARCA E	MARCA F	MARCA G	MARCA H	MARCA I	MARCA J	MARCA K	MARCA L	MARCA M
7170856	6070285	5948571	2886858	2924572	3257143	2989714	2058857	1920000	1590859	1097143	360000	0

Fonte: Autoria própria

A figura 17 mostra resultado da função Objetivo do mês de fevereiro de 2022, obteve um valor de R\$47 milhões de margem final, R\$ 7,8 milhões maior que o resultado antes da simulação com a ferramenta Solver.

Figura 18 – Resultado referente ao número de tanques para o mês de fevereiro

MARCA A	MARCA B	MARCA C	MARCA D	MARCA E	MARCA F	Tempo de fermentação e maturação
57,4	48,6					

Fonte: Autoria própria.

Números de tanque utilizados por marca no mês de Fevereiro de 2022

Figura 19 - Comparativo entre volumes de produção antes e depois da aplicação de Pesquisa

MARCA	Mês					
	JAN		FEV		DIF	
	SOLVER	DIF	SOLVER	DIF	SOLVER	DIF
MARCA A	7316337	1463267	8779604	5975713	7170856	1195143
MARCA B	7419907	1483981	8903888	5058571	6070285	1011714
MARCA C	5151340	1030268	6181608	4957142	5948571	991428
MARCA D	2779997	555999	3335996	2405715	2886858	481143
MARCA E	3371142	674228	4045370	2437144	2924572	487429
MARCA F	721429	144286	865714	2714286	3257143	542857
MARCA G	2299053	459811	2758863	2491429	2989714	498286
MARCA H	1206337	241267	1447605	1715715	2058857	343143
MARCA I	1657139	331428	1988567	1600000	1920000	320000
MARCA J	1808572	361714	2170287	1325715	1590859	265143
MARCA K	1104196	220839	1325035	914286	1097143	182857
MARCA L	314284	62857	377141	300000	360000	60000
MARCA M	199999	40000	239998	0	0	0
	35349731	7069946	42419677	31895716	38274859	6379143

Fonte: Autoria própria

A figura 19, mostra comparativo de volumes antes de depois da utilização do Solver mostrou um volume maior de 7 milhões de litros a mais de produção em Janeiro de 2022 e de 6,3 milhões de litros a mais em Fevereiro de 2022.

Figura 20 – Comparativo lucros de janeiro e fevereiro

Marca	Mês							
	Plano inicial		Solução Solver		Solução Solver		TOTAL	
	LUCRO JANEIRO	LUCRO FEVEIREIRO	LUCRO JANEIRO	LUCRO FEVEIREIRO	DIF JANEIRO	DIF FEV		
MARCA A	R\$ 6.438.376	R\$ 5.258.628	R\$ 7.726.052	R\$ 6.310.353	R\$ 1.287.675	R\$ 1.051.726	R\$ 2.339.401	
MARCA B	R\$ 5.490.731	R\$ 3.743.342	R\$ 6.588.877	R\$ 4.492.011	R\$ 1.098.146	R\$ 748.668	R\$ 1.846.815	
MARCA C	R\$ 10.302.680	R\$ 9.914.284	R\$ 12.363.216	R\$ 11.897.141	R\$ 2.060.536	R\$ 1.982.857	R\$ 4.043.393	
MARCA D	R\$ 2.084.997	R\$ 1.804.286	R\$ 2.501.997	R\$ 2.165.143	R\$ 416.999	R\$ 360.857	R\$ 777.857	
MARCA E	R\$ 5.899.498	R\$ 4.265.001	R\$ 7.079.397	R\$ 5.118.001	R\$ 1.179.900	R\$ 853.000	R\$ 2.032.900	
MARCA F	R\$ 1.298.572	R\$ 4.885.715	R\$ 1.558.286	R\$ 5.862.858	R\$ 259.714	R\$ 977.143	R\$ 1.236.857	
MARCA G	R\$ 3.678.485	R\$ 3.986.286	R\$ 4.414.181	R\$ 4.783.543	R\$ 735.697	R\$ 797.257	R\$ 1.532.954	
MARCA H	R\$ 1.809.506	R\$ 2.573.572	R\$ 2.171.407	R\$ 3.088.286	R\$ 361.901	R\$ 514.714	R\$ 876.616	
MARCA I	R\$ 1.060.569	R\$ 1.024.000	R\$ 1.272.683	R\$ 1.228.800	R\$ 212.114	R\$ 204.800	R\$ 416.914	
MARCA J	R\$ 1.627.715	R\$ 1.193.144	R\$ 1.953.258	R\$ 1.431.773	R\$ 325.543	R\$ 238.629	R\$ 564.172	
MARCA K	R\$ 861.273	R\$ 713.143	R\$ 1.033.527	R\$ 855.772	R\$ 172.255	R\$ 142.629	R\$ 314.883	
MARCA L	R\$ 138.285	R\$ 132.000	R\$ 165.942	R\$ 158.400	R\$ 27.657	R\$ 26.400	R\$ 54.057	
MARCA M	R\$ 439.997	R\$ 0	R\$ 527.997	R\$ 0	R\$ 87.999	R\$ 0	R\$ 87.999	
	R\$ 41.130.684	R\$ 39.493.402	R\$ 49.356.821	R\$ 47.392.082	R\$ 8.226.137	R\$ 7.898.680	R\$ 16.124.817	

Fonte: Autoria própria

Figura 21 – Resultado da função objetivo referente ao acumulado de todos os meses de 2021



Fonte: Autoria própria

A figura 21 mostra o resultado da função objetivo de todos os meses de 2021, obteve um valor de R\$578 milhões, R\$96 milhões a mais que o resultado antes da simulação da aplicação da ferramenta solver.

Figura 22 – Resultado referente ao número de tanques para todos os meses de 2021.

Fonte: Autoria própria

A figura 22 mostra o número de tanques utilizados por cada marca no período de todos os meses de 2021.

Figura 23 – Comparativo entre volumes de produção antes e depois da aplicação de pesquisa operacional para janeiro e fevereiro de 2022

MARCA	Mês		Litros produzidos				% JANEIRO	% FEVEREIRO
	JAN	SOLVER	DIF	FEV	SOLVER	DIF		
MARCA A	7316337	8779604	1463267	5975713	7170856	1195143	20%	20%
MARCA B	7419907	8903888	1483981	5058571	6070285	1011714	20%	20%
MARCA C	5151340	6181608	1030268	4957142	5948571	991428	20%	20%
MARCA D	2779997	3335996	555999	2405715	2886858	481143	20%	20%
MARCA E	3371142	4045370	674228	2437144	2924572	487429	20%	20%
MARCA F	721429	865714	144286	2714286	3257143	542857	20%	20%
MARCA G	2299053	2758863	459811	2491429	2989714	498286	20%	20%
MARCA H	1206337	1447605	241267	1715715	2058857	343143	20%	20%
MARCA I	1657139	1988567	331428	1600000	1920000	320000	20%	20%
MARCA J	1808572	2170287	361714	1325715	1590859	265143	20%	20%
MARCA K	1104196	1325035	220839	914286	1097143	182857	20%	20%
MARCA L	314284	377141	62857	300000	360000	60000	20%	20%
MARCA M	199999	239998	40000	0	0	0	20%	20%
	35349731	42419677	7069946	31895716	38274859	6379143	20%	20%

Fonte: Autoria própria

A figura 23 mostra o comparativo dos volumes de janeiro e fevereiro separadamente mostrando um aumento de 20% nos volumes nos dois meses.

Figura 24– Comparativo lucros de janeiro e fevereiro de 2022 com percentual

Marca	Mês		Solução Solver		Solução Solver		TOTAL	% JANEIRO	%FEVEREIRO
	Plano inicial		LUCRO JANEIRO	LUCRO FEVEREIRO	DIF JANEIRO	DIF FEV			
MARCA A	R\$ 6.438.376	R\$ 5.258.628	R\$ 7.726.052	R\$ 6.310.353	R\$ 1.287.675	R\$ 1.051.726	R\$ 2.339.401	20%	20%
MARCA B	R\$ 5.490.731	R\$ 3.743.342	R\$ 6.588.877	R\$ 4.492.011	R\$ 1.098.146	R\$ 748.668	R\$ 1.846.815	20%	20%
MARCA C	R\$ 10.302.680	R\$ 9.914.284	R\$ 12.363.216	R\$ 11.897.141	R\$ 2.060.536	R\$ 1.982.857	R\$ 4.043.393	20%	20%
MARCA D	R\$ 2.084.997	R\$ 1.804.286	R\$ 2.501.997	R\$ 2.165.143	R\$ 416.999	R\$ 360.857	R\$ 777.857	20%	20%
MARCA E	R\$ 5.899.498	R\$ 4.265.001	R\$ 7.079.397	R\$ 5.118.001	R\$ 1.179.900	R\$ 853.000	R\$ 2.032.900	20%	20%
MARCA F	R\$ 1.298.572	R\$ 4.885.715	R\$ 1.558.286	R\$ 5.862.858	R\$ 259.714	R\$ 977.143	R\$ 1.236.857	20%	20%
MARCA G	R\$ 3.678.485	R\$ 3.986.286	R\$ 4.414.181	R\$ 4.783.543	R\$ 735.697	R\$ 797.257	R\$ 1.532.954	20%	20%
MARCA H	R\$ 1.809.506	R\$ 2.573.572	R\$ 2.171.407	R\$ 3.088.286	R\$ 361.901	R\$ 514.714	R\$ 876.616	20%	20%
MARCA I	R\$ 1.060.569	R\$ 1.024.000	R\$ 1.272.683	R\$ 1.228.800	R\$ 212.114	R\$ 204.800	R\$ 416.914	20%	20%
MARCA J	R\$ 1.627.715	R\$ 1.193.144	R\$ 1.953.258	R\$ 1.431.773	R\$ 325.543	R\$ 238.629	R\$ 564.172	20%	20%
MARCA K	R\$ 861.273	R\$ 713.143	R\$ 1.033.527	R\$ 855.772	R\$ 172.255	R\$ 142.629	R\$ 314.883	20%	20%
MARCA L	R\$ 138.285	R\$ 132.000	R\$ 165.942	R\$ 158.400	R\$ 27.657	R\$ 26.400	R\$ 54.057	20%	20%
MARCA M	R\$ 439.997	R\$ 0	R\$ 527.997	R\$ 0	R\$ 87.999	R\$ 0	R\$ 87.999	20%	20%
	R\$ 41.130.684	R\$ 39.493.402	R\$ 49.356.821	R\$ 47.392.082	R\$ 8.226.137	R\$ 7.898.680	R\$ 16.124.817	20%	20%

Fonte: Autoria própria

A figura 24 mostra o comparativo das margens de janeiro e fevereiro separadamente mostrando um aumento de 20% nos volumes nos dois meses.

Figura 25 – Comparativo entre volumes de produção antes e depois da aplicação de pesquisa operacional para todos os meses de 2021

Meses referente ao ano de 2021													Total Geral	solver	DIF	%
Litros produzidos																
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ					
1745915	2146366	1009439	2623495	2801817	1999749	1726966	2408788	1998642	1863136	2236138	1980616	24541065	29449278	4908213	20%	
3332456	3956361	2782752	2958944	3361756	3100398	2049805	3315809	2806329	2150245	3146378	3111762	36072995	43287593	7214599	20%	
0	0	0	0	0	0	0	753703	459876	453800	632100	1093200	3392679	4071214	678536	20%	
13144441	9473583	8007980	7993428	8210430	4103615	8721720	8136498	8340620	9215485	10863529	11838479	108049809	129659771	21609962	20%	
2765255	2718118	877114	1322044	2581272	2170556	4607973	3743330	4042753	4369901	3625418	3414290	36238023	43485627	7247605	20%	
2727741	2085193	800879	1343290	1982253	1393270	818874	1879780	955990	544210	1155609	918304	16605394	19926473	3321079	20%	
3200059	2200478	1990898	505420	1444521	1318377	1750375	2031286	1444477	1346918	1410433	1104140	19747381	23696857	3949476	20%	
6325936	7762329	11797881	10736194	9758585	7104395	9222556	10753753	10687300	10177013	11945004	12833753	119104698	142925638	23820940	20%	
2799997	2399997	873328	850000	431548	342722	403918	491225	400000	423800	542300	1126900	11085734	13302881	2217147	20%	
245465	474129	906541	1086809	1352610	1011062	1717982	1302139	863341	646902	817157	490405	10914540	13097448	2182908	20%	
1966352	2075206	2226750	730140	1572629	1303823	1000714	1451131	548342	157981	640101	306449	13979621	16775545	2795924	20%	
1038533	1051794	1013061	1000000	834672	764863	754479	859791	750000	675800	721100	1186039	10650131	12780157	2130026	20%	
80265	412429	417258	600000	470904	223825	214678	246858	325000	258600	897500	304172	4451490	5341788	890298	20%	
39372415	36755983	32703879	31749765	34802997	24836655	32990040	37374091	33622668	32283791	38632766	39708510	414833559	497800271	82966712	20%	

Fonte: Autoria própria

A figura 25 mostra o comparativo dos volumes de todos os meses de 2021 com o resultado obtido na ferramenta solver, com aumento de 20% na produção total.

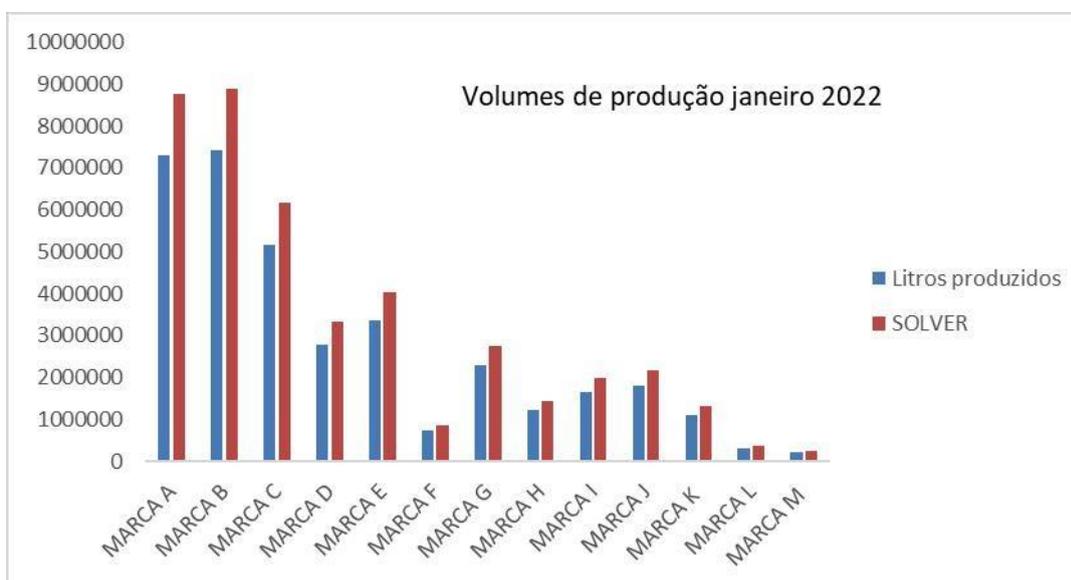
Figura 26 – Comparativo lucros de todos os meses de 2021 após aplicação de pesquisa operacional.

Meses referente ao ano de 2021																	
Marca	Litros produzidos												Total Geral	Lucro R\$	LUCRO SOLVER R\$	DIF R\$	%
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ					
MARCA A	1745915	2146366	1009439	2623495	2801817	1999749	1726966	2408788	1998642	1863136	2236138	1980616	24541065	R\$ 21.596.137	R\$ 25.915.365	R\$ 4.319.227	20%
MARCA B	3332456	3956361	2782752	2958944	3361756	3100398	2049805	3315809	2806329	2150245	3146378	3111762	36072995	R\$ 26.694.016	R\$ 32.032.819	R\$ 5.338.803	20%
MARCA C	0	0	0	0	0	0	0	753703	459876	453800	632100	1093200	3392679	R\$ 6.785.357	R\$ 8.142.428	R\$ 1.357.071	20%
MARCA D	13144441	9473583	8007980	7993428	8210430	4103615	8721720	8136498	8340620	9215485	10863529	11838479	108049809	R\$ 81.037.357	R\$ 97.244.828	R\$ 16.207.471	20%
MARCA E	2765255	2718118	877114	1322044	2581272	2170556	4607973	3743330	4042753	4369901	3625418	3414290	36238023	R\$ 63.416.540	R\$ 76.099.848	R\$ 12.683.308	20%
MARCA F	2727741	2085193	800879	1343290	1982253	1393270	818874	1879780	955990	544210	1155609	918304	16605394	R\$ 29.889.709	R\$ 35.867.651	R\$ 5.977.942	20%
MARCA G	3200059	2200478	1990898	505420	1444521	1318377	1750375	2031286	1444477	1346918	1410433	1104140	19747381	R\$ 31.595.810	R\$ 37.914.972	R\$ 6.319.162	20%
MARCA H	6325936	7762329	11797881	10736194	9758585	7104395	9222556	10753753	10687300	10177013	11945004	12833753	119104698	R\$ 178.657.048	R\$ 214.388.457	R\$ 35.731.410	20%
MARCA I	2799997	2399997	873328	850000	431548	342722	403918	491225	400000	423800	542300	1126900	11085734	R\$ 7.094.870	R\$ 8.513.844	R\$ 1.418.974	20%
MARCA J	245465	474129	906541	1086809	1352610	1011062	1717982	1302139	863341	646902	817157	490405	10914540	R\$ 9.823.086	R\$ 11.787.703	R\$ 1.964.617	20%
MARCA K	1966352	2075206	2226750	730140	1572629	1303823	1000714	1451131	548342	157981	640101	306449	13979621	R\$ 10.904.104	R\$ 13.084.925	R\$ 2.180.821	20%
MARCA L	1038533	1051794	1013061	1000000	834672	764863	754479	859791	750000	675800	721100	1186039	10650131	R\$ 4.686.058	R\$ 5.623.269	R\$ 937.212	20%
MARCA M	80265	412429	417258	600000	470904	223825	214678	246858	325000	258600	897500	304172	4451490	R\$ 9.793.279	R\$ 11.751.934	R\$ 1.958.656	20%
Total	39372415	36755983	32703879	31749765	34802997	24836655	32990040	37374091	33622668	32283791	38632766	39708510	414833559	R\$ 481.973.369	R\$ 578.368.043	R\$ 96.394.674	20%

Fonte: Autoria própria

A figura 26 mostra o comparativo das margens de lucro de todos os meses de 2021 com o resultado obtido na ferramenta solver, com aumento de 20% na margem total.

Figura 27 – Comparativo entre volumes planejados para produção de janeiro de 2022 e valores após aplicação da pesquisa operacional



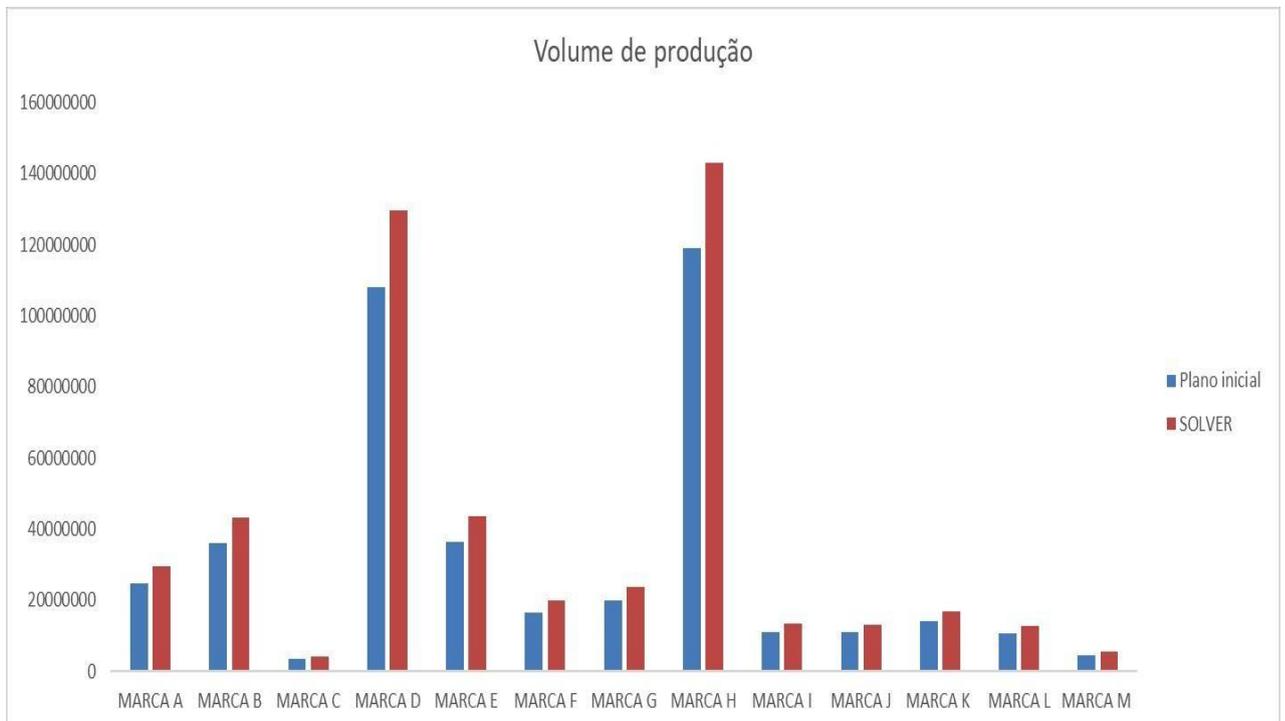
Fonte: Autoria própria

Figura 28 – Comparativo entre volumes planejados para produção de fevereiro de 2022 e valores após aplicação da pesquisa operacional



Fonte: Autoria própria

Figura 29 – Comparativo entre volumes planejados para produção de todos os meses de 2021 e valores após aplicação da pesquisa operacional.

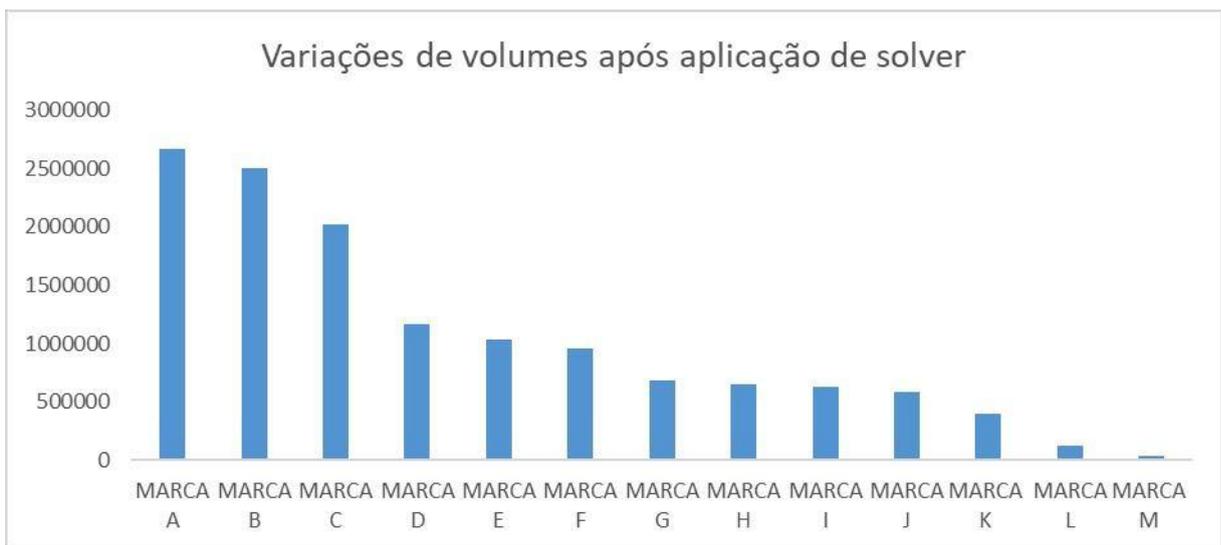


Fonte: Autoria própria

Como pode ser observado em todos os cálculos, houve um aumento significativo no lucro, porém é válido ressaltar que o método não irá entregar o melhor resultado, mas irá entregar o resultado ótimo, ou seja, o que temos aqui como resultado não é o resultado perfeito e sim um resultado que irá atender às necessidades da função objetivo, de maneira mais rápida e objetiva, dentro das restrições que o problema apresenta.

Para a análise dos dados do ano de 2021, o gráfico mostra que a marca H e D são as com maior volume, já para os meses de janeiro e fevereiro de 2022 o são as marcas A e B o que não mostra uma correlação específica dessas análises.

Figura 30 - Variações de volume após aplicação do Solver para os meses de janeiro e fevereiro de 2022.



Fonte: Autoria própria

Figura 31 – Variações de volume após aplicação do Solver em todos os meses de 2021.

Fonte: Autoria própria

É possível observar que há uma grande concentração do volume produzido em duas marcas, marcas H e D, que podem acarretar num maior ganho na receita da cervejaria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho de conclusão de curso com a simulação da aplicação de pesquisa operacional no plano de programação de líquido de uma cervejaria mostrou o impacto da simulação de uma ferramenta de resolução de problemas matemáticos, mostrando, com as análises, um aumento de produção que não estava no plano inicial de produção de líquido da presente cervejaria, assim, atingindo o objetivo geral do presente trabalho de conclusão de curso que é aumentar a margem de lucro da produção de líquido, utilizando a pesquisa operacional.

Com relação ao objetivo geral, foi identificado e desenvolvido um modelo matemático de programação linear para a programação de produção no processo cerveja da cervejaria. Da mesma forma, os objetivos específicos também foram atingidos, uma vez que se buscou na literatura obras de autores relacionadas aos termos pertinentes para o estudo, de forma a desenvolver o conhecimento com base teórica, identificando os recursos disponíveis, desenvolvendo o modelo matemático, analisando e comparando os resultados.

A relação entre os produtos, com tempo menor de processo e produtos com tempo maior de processo e margens maiores, não mostrou em resultados que possui maiores diferenças, as maiores variações de volume entre o plano inicial foram os produtos com maiores produções, em todos os casos o volume de ganho no plano inicial foi de 20%, valor máximo de variação pela demanda pré-definida.

Assim, obteve-se um aumento de produção e margem nas produções de janeiro e fevereiro utilizando a pesquisa operacional na programação de líquido, janeiro de 2022 teve um lucro maior de R\$8.226.136,77 e fevereiro de 2022 com R\$7.898.680,33, totalizando um lucro maior em dois meses de R\$16.124.817,10. Já o ano de 2021 obteve um valor de lucro maior de R\$96.394.673,89, mostrando que a capacidade produtiva não foi totalmente usada durante esse período nos três cenários analisados, com uma diferença de 20% a mais de produção em todos os cenários, valor limite de produção a mais por cada produto.

Pode se assim perceber pela simulação da aplicação de pesquisa operacional poderia ter um retorno de R\$16.124.817,10 para 2022 e de R\$96.394.673,89 em 2021 que pode ser usado no início do plano de Planejamento e controle de produção de

liquido para ser repassado as áreas para ser seguida para aplicação no operacional, atingindo o objetivo inicial do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, R. R.; SANTOS, Y. B. I. **Utilização da Pesquisa Operacional para Minimização de Custos de Mão de Obra em uma Construtora Localizada na região Metropolitana de Belém**. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENESEP), João Pessoa, 2016.
- ARENALES, M. **Pesquisa Operacional**. 2ª ed. Grupo GEN, 2015.
- BONINI, A. C.; SILVA, N. G.; KELLNER, F. L.; CRUZ, F.; OENING, A. P.; BARROS, A. C. C., Um estudo teórico sobre a história da pesquisa operacional. **Anais do EVINCI-UniBrasil**, v. 1, n. 4, p. 1666-1670, 2016.
- BROWNE, J.; HARHEN, J.; SHIVNAN, J. **Production management systems: a CIM perspective**. Cornwall: Addison-Wesley Publishing Company, 1988.
- CAIXETA-FILHO, José Vicente. **Pesquisa Operacional**. São Paulo: Atlas, 2001.
- CAVALCANTI, E. M. B.; MORAES, W. F. A. de. Programa-mestre de produção: concepção teórica x aplicação prática na indústria de cervejas e refrigerantes. **ENANPAD**, Florianópolis. Anais, Porto Alegre, Associação Nacional dos Programas de Pós Graduação em Administração - ANPAD, 1998.
- CHING, H. Y. **Gestão de estoque na cadeia logística integrada: supply chain**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- CIRIBELLI, M. C. **Como elaborar uma dissertação de Mestrado através da pesquisa científica**. Rio de Janeiro: 7 Letras, 2003.
- COLIN, E. C. **Pesquisa operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2018.
- CORBETT NETO, T. **Contabilidade de Ganhos**. São Paulo: Nobel, 1997
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. **Just in time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1993.
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 2013. 456 p.
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção: MRP II/ERP conceito, uso e implantação**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2011.
- DELIBERALLI, C. C. **Cervejas artesanais no Brasil: análise da comunicação integrada de marketing da cervejaria Bodebrown**. Monografia (Comunicação Social) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

ERDMANN, R. H. **Organização de sistemas de produção**. Florianópolis, Santa Catarina: Insular, 1998.

FEDERAL DE JUIZ DE FORA, 2010. Acesso em: 24 abr 2022. Disponível em: <https://www.ufjf.br/epd015/files/2010/06/IntrodPL.pdf>

FERNANDES, F. C. F.; GODINHO, M. **Planejamento e controle da produção: dos fundamentos ao essencial**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2010.

GARCIA, S.; GUERREIRO, R.; CORRAR, L. J. **Teoria das Restrições e Programação Linear**. Trabalho apresentado no V Congresso Internacional de Custos, Acapulco, México, 1997.

GEOFFRION, A. M., KRISHNAN, R. **Prospects for Operations Research in the e-Business Era. Interfaces**. 2001.

GOLDBARG, M. C. & LUNA, H. P. L. **Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos**". Editora Campus, Rio de Janeiro, 2000.

HILLIER, F.S; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9. ed. McGraw Hill, 2013.

KOPAK, S. C. **Uma contribuição à gestão da produção pelo uso da teoria das restrições**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica do Paraná,

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa Operacional na tomada de decisões**. 4 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LAURINDO, F. J. B.; MESQUITA, M. A. de. Material requirements planning: 25 anos de história – uma revisão do passado e prospecção do futuro. **Revista Gestão & Produção**, v. 7, n. 3, p.320-337, 2000.

LINKO, M.; HAIKARA, A.; RITALA, A.; PENTTILÄ, M. Recent advances in the malting and brewing industry. **Journal of Biotechnology**, v. 65, n. 2-3, p. 85-98, 1998.

LONGARAY, A. A. **Introdução a Pesquisa Operacional**. São Paulo: Saraiva, 212 p, 2013.

LUKASIAK, P., BLAZEWICZ, J., MILOSTAN, M. Some operations research methods for analyzing protein sequences and structures. **Annals of Operations Research**, 2010.

MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO). **CRESCIMENTO MERCADO CERVEJEIRO**, 2021. Acesso em: 20 abr 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/com-crecimento-de-14-4-em-2020-numero-de-ervejarias-registradas-no-brasil-passa-de-1-3-mil>

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 1999.

MATOS, R. **Mercado Cervejeiro**. São Paulo, Euromonitor, 2021.

MELO, I. M; MIRANDA, C. C.; BARBOSA, H. S.; MOREIRA, C. R. M; SANTOS, Y. B. I. **Aplicação da teoria das filas em uma agência dos correios**. **SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 21, 2014, Bauru. Anais eletrônicos... XXI SIMPEP, 2014.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1993.

MOREIRA, M. M. **Liberdade para ensinar e aprender literatura**. O uso de mapas conceituais, 2012.

NOGUEIRA, F. M. A. **Programação linear – Modelagem**. Universidade

NOREEN, Eric; SMITH, Debra; MACKEY, James. A Teoria das Restrições e suas Implicações na contabilidade Gerencial. São Paulo: Educator, 1996.

OENNING, V., RODRIGUES, L. H., CASSEL, R. A., ANTUNES JUNIOR, J. A. V. Teoria das restrições e programação linear. Uma análise sobre o enfoque de otimização da produção. **Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, v. 24, p. 210-218, 2004.

PEDROSO, M. C.; CORRÊA, H. L. Sistemas de programação da produção com capacidade finita: uma decisão estratégica? **Revista de Administração de Empresas**, v.36, n. 4, 1996.

PONTES, B. R. **Avaliação de Desempenho: Nova Abordagem**. 10 ed. São Paulo: Ltr, 2008.

RAVINDRAN, A.; PHILLIPS, D.T.; SOLBERG, J.J. **Operations Research, Principles and Practice**. 2ª Ed. New York: John Wiley, 1987.

ROGERIO, B. M.; MORETTI, R. H. Produção de cerveja Pilsen com malte concentrado. **Congresso Interno de Iniciação Científica**, Anais Departamento de Tecnologia de Alimentos, UNICAMP, SP, Brasil, 2008.

RUSSOMANO, V. H. **Planejamento e controle da produção**. 6.ed. São Paulo: Pioneira,2000.

SANTOS, J. N.; VALLIM, C.R., **Programação linear na otimização de mix de serviços**: um estudo de uma empresa de hotelaria, 2020.

SCHIAVI, G. S.; BEHR, A. Modelos de negócios disruptivos: uma análise bibliométrica de artigos disponíveis em bases de dados científicas. **ConTexto**, v. 18, n. 40, p.1-15, 2018.

SCHONBERGER, R. J. **Técnicas industriais japonesas: nove lições ocultas sobre a simplicidade**. 4 ed. rev. São Paulo: Ed. Pioneira, 1993.

SIMON, H. A. **The new science of management decision. Revised edition**. Prentice Hall College, New York, 1977.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1997.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. Tradução de Mara Teresa Corrêa de Oliveira; Fábio Alher; revisão técnica Henrique Luiz Corrêa. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SOUSA, R. S.; SILVA, C. T. L.; ARENALES, M. N. Métodos do tipo dual simplex para problemas de otimização linear canalizados. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 3, p. 349-382, 2005.

TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.