UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARCELO HORTA E SILVA DE MENDONÇA

PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE CAPACIDADE APLICADO A UMA INDÚSTRIA DO SETOR ALIMENTÍCIO UTILIZANDO MODELAGEM MATEMÁTICA

JUIZ DE FORA
2022

MARCELO HORTA E SILVA DE MENDONÇA

PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE CAPACIDADE APLICADO A UMA INDÚSTRIA DO SETOR ALIMENTÍCIO UTILIZANDO MODELAGEM MATEMÁTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: D. Sc. Márcio de Oliveira

JUIZ DE FORA

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Horta e Silva de Mendonça, Marcelo.
PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE CAPACIDADE APLICADO A UMA INDÚSTRIA DO SETOR ALIMENTÍCIO UTILIZANDO MODELAGEM MATEMÁTICA / Marcelo Horta e Silva de Mendonça. -- 2022.
62 p.

Orientador: Márcio de Oliveira
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2022.

1. Planejamento de capacidade. 2. Mix de produção. 3. Programação matemática. I. de Oliveira, Márcio, orient. II. Título.

MARCELO HORTA E SILVA DE MENDONÇA

PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE CAPACIDADE APLICADO A UMA INDÚSTRIA DO SETOR ALIMENTÍCIO UTILIZANDO MODELAGEM MATEMÁTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovado em 16 de fevereiro de 2022

BANCA EXAMINADORA

D. Sc. Márcio de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora

D. Sc. Roberto Malheiros Moreira Filho
Universidade Federal de Juiz de Fora

D. Sc. Antônio Ângelo Missiaggia Picorone
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

A todos que permitiram que eu chegasse a essa conquista, meus sinceros agradecimentos.

Sem vocês, família, namorada e amigos, colegas de curso, professores, instituições de ensino e todos mais que participaram dessa jornada, nada disso seria possível. Sou eternamente grato por tudo o que vivi.

Agradeço especialmente à Campo Bom – e por extensão, a todos que passaram por lá – por ter sido a empresa que me criou e que me permitiu chegar ao final dessa etapa.

Se hoje estou graduando como Engenheiro de Produção, devo isso ao carinho e apoio de cada um de vocês.

Ninguém chega a lugar algum sozinho, portanto meu muito obrigado!

RESUMO

Toda indústria deve em algum momento dimensionar o quão capaz deverá ser em termos de atendimento de demanda. Para tanto pode usar ferramentas quantitativas, bem estabelecidas tanto no meio acadêmico quanto no empresarial. Nesse sentido, este trabalho surge como uma aplicação da modelagem matemática como forma de se obter informações que guiarão as decisões de capacidade de uma indústria do setor alimentício da zona da mata mineira. Para tanto, o pesquisador criou um modelo de programação linear, que teve sua função objetivo representada pela margem de contribuição dos produtos. Esse problema de maximização foi limitado por dois grupos de restrições: um de demanda, com limites inferiores e superiores, e outro de limites de capacidade de processo, de maneira a garantir a viabilidade da solução a ser encontrada. Com o resultado do modelo, foi possível identificar os produtos mais rentáveis, os recursos escassos, além do impacto dos limites de demanda sobre o *mix* ótimo. Essa solução permitiu que o pesquisador detectasse pontos de melhoria da empresa e propusesse mudanças que objetivaram aumentar a eficiência operacional da linha de produção estudada. Concluiu-se que, com um incremento de 5% na eficiência operacional, a organização poderá ampliar em 6,03% sua margem de contribuição total, mantendo-se as restrições de demanda e o número de turnos diários de trabalho.

Palavras-chave: planejamento de capacidade, mix de produção, programação matemática.

ABSTRACT

Every industry must at some point assess how capable it should be in terms of meeting demand. For that, it can use quantitative tools, well established both in the academia and in business environment. On this way, this work emerges as an application of mathematical modeling as an approach to obtain information that will guide capacity decisions of an industry in the food sector in the Zona da Mata Mineira. For this goal, the researcher created a linear programming model whose objective function was represented by the contribution margin of the products produced. This maximization problem was limited by two groups of constraints: those of demand, with lower and upper limits, and process capacity limits, in order to ensure the viability of the solution to be found. With the result of the model, it was possible to identify the most profitable products, scarce resources, in addition to the impact of demand limits on the optimal mix This solution allowed the researcher to detect points of improvement of the company and propose changes that aimed enhancing the operational efficiency of the studied production line. With a 5% gain in operational efficiency, the organization will be able to increase its total contribution margin by 6.03%, maintaining original demand restrictions and number of daily shifts.

Keywords: capacity planning, production mix, mathematical programming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - *Framework* para o Planejamento Estratégico de Capacidade.....27
Figura 2 - Setor de separação e pesagem.....33
Figura 3 - Misturador 34
Figura 4 - Empacotamento e Enfardamento.....35
Figura 5 - Fluxograma de BI1, CC1 e CC2.....35
Figura 6 - Fluxograma das farofas.....36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Eficiência *versus* margem de contribuição 47
Gráfico 2 - Eficiência *versus* margem de contribuição ilimitada pela demanda 48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Informações levantadas por entrevistado 20
Quadro 2 - *Mix* de produtos estudados e seus principais atributos 31
Quadro 3 - Objetivos secundários do trabalho 51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Margem de contribuição por variável....36
Tabela 2 - Previsão de demanda limites e parâmetros....38
Tabela 3 - Capacidade requerida por produto do Processo 1 40
Tabela 4 - Capacidade requerida por produto do Processo 2 41
Tabela 5 - Capacidade requerida por produto do Processo 3 42
Tabela 6 - Capacidade requerida por produto do Processo 4 42
Tabela 7 - Variáveis e seus valores otimizados....43
Tabela 8 - Folga dos recursos produtivos....43
Tabela 9 - Solução ótima com relaxamento superior de demanda 46

LISTA DE FÓRMULAS

(1) 37
(2) 38
(3) 40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 14
1.2 JUSTIFICATIVA 15
1.3 ESCOPO DO TRABALHO 16
1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS 19
1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA 19
1.5.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA 19
1.5.2 COLETA DE DADOS 19
1.5.2.1 Histórico de vendas 20
1.5.2.2 Fluxograma de processos 22
1.5.2.3 Capacidades dos processos 22
1.5.2.4 Capacidade requerida por produto 22
1.5.3 MODELAGEM 22
1.5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS 23
1.5.5 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE CAPACIDADE 24

2. PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE CAPACIDADE 25

2.1 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE CAPACIDADE 25

3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO 31

3.1 O PROCESSO PRODUTIVO 31
3.1.1 SEPARAÇÃO E PESAGEM 32
3.1.2 MISTURADOR 33
3.1.3 EMPACOTAMENTO 34
3.1.4 ENFARDAMENTO 34
3.2 A FUNÇÃO OBJETIVO 36
3.3 RESTRIÇÕES DE DEMANDA 37
3.4 RESTRIÇÕES DE PROCESSO 39
3.4.1 CAPACIDADE DISPONÍVEL POR PROCESSO 39
3.4.2 CAPACIDADE REQUERIDA POR PRODUTO POR PROCESSO 40
3.4.2.1 Processo 1 – Separação e pesagem 40

3.4.2.2 Processo 2 – Mistura 41
3.4.2.3 Processo 3 – Empacotamento 41
3.4.2.4 Processo 4 – Enfardamento 42

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 43

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 51

REFERÊNCIAS 53

ANEXO A – ENTREVISTA: SUPERVISOR DE PRODUÇÃO 55

ANEXO B – ENTREVISTA: LÍDER DE PRODUÇÃO 57

ANEXO C – ENTREVISTA: GERENTE DE VENDAS 59

ANEXO D – MODELO LINGO 61

ANEXO E – TERMO DE AUTENTICIDADE 62

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente trabalho versa sobre um planejamento estratégico de capacidade aplicado a uma indústria alimentícia da Zona da Mata de Minas Gerais.

É, portanto, uma pesquisa relacionada a área de conhecimento de Engenharia de Operações e Processos e subárea Planejamento e Controle de Produção, de acordo com a atual classificação proposta pela ABEPRO (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2018). Esta área do saber trata de projetos, operações, melhorias dos sistemas que criam e entregam os produtos (bens ou serviços) primários da empresa. Ao mesmo tempo, aborda tópicos sobre a área Pesquisa Operacional, que, também de acordo com a Abepro, versa sobre a resolução de modelos reais em situações de tomada de decisão, por meio da modelagem matemática, costumeiramente resolvida computacionalmente. As subáreas de destaque são (i) Modelagem, Simulação e Otimização e (ii) Programação Matemática.

Quando se planeja a capacidade num nível estratégico, as organizações devem decidir o quão grandes desejam ser em termos de atendimento de demanda. E na ocasião dessa decisão ser equivocada, problemas como uma baixa utilização da capacidade disponível podem vir à tona, refletindo em prejuízos financeiros para a corporação, dada a baixa diluição dos custos fixos no volume produzido. Ainda, quando a capacidade é utilizada no seu limite, filas podem ser formadas e o nível de atendimento da demanda pode reduzir. Nesse cenário, outros problemas podem surgir, como perda de produtividade decorrentes de longos períodos de horas extras – tal como seus custos adicionais associados – e a redução do tempo disponível para manutenção, acarretando em maiores índices de quebra de máquina (SLACK e BRANDON-JONES, 2018).

Portanto, é de suma importância que o gestor tenha em mãos as informações e ferramentas necessárias para dimensionar corretamente a capacidade de seu sistema produtivo, de modo a otimizar os resultados de organização.

Nesse sentido, este trabalho servirá como um arco entre aquilo que se encontra na literatura disponível de planejamento estratégico de capacidade e a realidade do chão de fábrica de uma indústria alimentícia, sugerindo algumas possibilidades de aplicação da teoria de planejamento de capacidade na prática.

1.2 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista que o planejamento estratégico de capacidade é fator chave para o sucesso de uma organização, esta pesquisa torna-se relevante, dado que traz uma aplicação desse conceito teórico na prática, amparado em conhecimentos estabelecidos de métodos de otimização – ou Pesquisa Operacional (PO).

A PO lida com situações de tomada de decisão – tal qual o planejamento estratégico de capacidade, um processo humano frequentemente baseado em intuição. Quando essa decisão se dá no âmbito político, governamental, comercial ou institucional, requer-se mais do que intuição – uma metodologia sistemática. Assim, através de métodos e algoritmos, pode-se tomar decisões que inspiram mais confiança e mais fáceis de se justificar para um gestor, ou para as pessoas afetadas pela decisão (CARTER, PRICE e RABADI, 2019).

Ainda, esta pesquisa disponibiliza novas informações para a literatura de Gestão de Operações e Processos e possibilita que futuros trabalhos venham a ser desenvolvidos com os dados que aqui serão expostos, podendo inclusive ser replicado em organizações com arranjos produtivos similares. Pode também abrir oportunidades para o desenvolvimento de soluções sistemáticas naquilo que concerne ao planejamento estratégico de capacidade de uma indústria alimentícia.

Para além da contribuição à comunidade científica, há também o interesse da empresa objeto do presente estudo em incentivar a pesquisa acadêmica, abrindo suas portas para que o pesquisador possa compreender seus processos e trazer dados relevantes à tona. Sem apoio dessa natureza, o estudo do planejamento estratégico de capacidade torna-se inócuo, já que se trata de uma área do conhecimento intimamente ligada com as questões aplicadas.

À parte da contribuição científica, existe igualmente o interesse da empresa em criar soluções próprias para problemas estratégicos de capacidade, baseando-se nos resultados do presente trabalho. Recentemente, incrementou sua capacidade através da adição de um novo turno e estuda a viabilidade da inclusão de mais um. Para tanto, os esforços dessa pesquisa serão de grande valia para que a organização possa tomar decisões baseadas em conhecimento científico e para que sirvam de ponto de partida para aplicações similares.

Portanto, aproximar-se da academia é interesse da empresa, que inclusive conta com convênio de estágio com diferentes instituições de ensino de Juiz de Fora – MG, visando não somente preparar alunos a serem absorvidos profissionalmente pela sociedade, como também usufruir dessa mão de obra em qualificação. Aliás, o autor desta pesquisa já trabalhou na

empresa estudada e possui conhecimento de causa sobre as questões que serão levantadas no decorrer do texto.

Por fim, mas não menos importante, o autor da presente dissertação demonstra interesse pela Gestão de Operações e Processos, fato que o motiva e que torna o esforço de pesquisar mais recompensante.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

Como mencionado anteriormente, o objeto de investigação deste estudo é o planejamento estratégico de capacidade. Para tanto, o autor buscou explicá-lo por meio de um exemplo prático, aplicando ferramentas de otimização, a fim de torná-lo mais palpável por meio de sua aplicação numa indústria do ramo alimentício de Juiz de Fora – MG.

A empresa possui três grandes linhas produtivas: (i) feijões, grãos e farináceos, (ii) conservas, e, (iii) farofas. Contudo, em decorrência de limitações temporais de estudo, e ainda, devido ao interesse da própria empresa, a pesquisa foi conduzida apenas na linha de farofas. Dessa forma, o presente trabalho ficou limitado a explorar a relação dos 18 produtos manufaturados naquela linha com as restrições relativas aos respectivos recursos produtivos utilizados. Para além das questões de processo, também foram identificadas, nesta pesquisa, as restrições relativas à demanda dos produtos.

Esses dois grupos – restrições de demanda e restrições de processos – delimitaram os ganhos da empresa em função das margens de contribuição de cada um dos produtos, obtidas pela gerência responsável em caráter sigiloso.

Assim, os resultados deste modelo não refletem os ganhos de fato da empresa estudada, uma vez que as margens de contribuição foram normalizadas, isto é, foi identificada a maior margem de contribuição unitária e, com este valor, dividiu-se todas as outras margens, ficando limitadas entre zero e um. Após essa divisão, cada produto teve sua margem unitária multiplicada pela quantidade de pacotes que compõem um fardo – unidade de medida a ser utilizada no decorrer do estudo – chegando ao valor final da margem de contribuição de um fardo.

Para cada produto, obteve-se um parâmetro de capacidade requerida para cada processo de sua fabricação. Ou seja, um produto pode consumir mais capacidade que outro em um mesmo processo, a depender da natureza de sua fabricação. Deste modo, há uma combinação ideal de produtos a serem manufaturados de tal sorte que a margem de contribuição

total seja máxima, sem violar as restrições de capacidade de processos, nem as restrições de demanda.

A capacidade dos processos foi definida através da duração do turno, subtraindo-se as paradas programadas (manutenção, limpeza e retomada de atividades). Desse resultado, aplicou-se uma taxa de eficiência, a qual foi assumida como igual para todos os processos. Essa taxa foi informada pela supervisão de produção.

Durante a pesquisa foi aconselhado também pela supervisão que o processo de separação e pesagem dispusesse de uma intercambialidade com os processos de mistura e enfardamento. Isso por que, segundo a supervisão, o colaborador responsável pela separação e pesagem, por vezes, fica ocioso, ao passo que os colaboradores dos processos de mistura e de enfardamento ficam sobrecarregados. Esta intercambialidade, contudo, no modelo matemático, não leva em consideração o momento da utilização da capacidade, pois pode ocorrer que, em determinado instante, o responsável pelo processo de separação e pesagem esteja ocioso e nenhum dos processos seguintes estejam sobrecarregados. Ou ainda, o colaborador de separação e pesagem esteja ocupado, executando suas tarefas, no mesmo instante que é necessário auxílio nos processos de mistura ou enfardamento.

Em se tratando de margem de contribuição, está sendo levado em consideração apenas os ganhos utilizados para pagar os custos e despesas fixas. Portanto, é extraído do preço do produto – que gera a receita – os custos de matéria prima, despesas de comissão e de frete, além dos encargos tributários. Esse arcabouço de custeio não foi detalhado nesta pesquisa. Apenas assumiu-se como verdadeiras as margens de contribuição informadas pela empresa, utilizadas como parâmetros da função objetivo na etapa de modelagem.

Ademais, algumas simplificações foram levadas em consideração. Uma delas é que a modelagem foi realizada para o horizonte de planejamento de 2022 em período único. Ou seja, as saídas do modelo indicarão o quanto deve ser fabricado de cada produto ao longo dos 12 meses. Há que se destacar que a discussão de capacidade aqui se deu num nível menos tático e mais estratégico e, assim, não será levado em conta o momento da produção, mas apenas o quanto deve ser manufaturado.

Outra é que existem algumas operações manuais nos processos produtivos e que, por limitação de tempo, o pesquisador não pode determinar com grande exatidão os tempos padrões para cada tarefa, pois muitas delas são executadas cada momento por um operador, em conjunto com outro colaborador ou não e de maneiras distintas. Alguns parâmetros foram informados diretamente pela supervisão de produção e assumidos como verdadeiros. De qualquer forma,

como está se planejando no nível estratégico, supõe-se que esse ajuste fino não terá grandes impactos sobre os resultados globais do modelo.

Em relação as restrições de demanda do problema, existe outra limitação: ela foi estimada utilizando um histórico de vendas. Isso pode distorcer a precisão dos limites de demanda, uma vez que uma venda pode não ocorrer e a demanda continuar existindo. Portanto, se os limites são baseados num histórico de vendas, no qual houve demanda não atendida, o histórico de vendas deixa de refletir fidedignamente a demanda.

Além disso, alguns produtos foram recentemente introduzidos no portfólio da família de produtos estudada, impedindo que a previsão fosse feita através de métodos quantitativos. Nesses casos, uma estimativa foi levantada junto ao departamento comercial, que validou inclusive as previsões geradas pelo método quantitativo.

A disponibilidade de matéria-prima suficiente para todo o horizonte de planejamento é uma premissa adotada para este problema, uma vez que, de acordo com entrevistas, a falta de matéria-prima não é um acontecimento comum na linha de produção estudada.

Além disso, supõe-se, nesse trabalho, que o mercado não restringirá a produção, uma vez que a demanda pelos produtos é superior a capacidade de produção, fato que foi confirmado pelo gerente de vendas em entrevista.

Outro fator a se ponderar é a questão das economias de escala: no decorrer deste trabalho elas não serão levadas em consideração por se tratar de um modelo linear. Optou-se por essa via pela simplicidade de se resolver esses modelos aliada a rapidez. Para realizar análises de sensibilidade, isto é, para saber o quanto se pode variar cada parâmetro do modelo, a programação linear torna-se bem menos custosa e direta.

A perecibilidade dos produtos também não foi levada em consideração pelo modelo. Dessa forma, assume-se que o mercado absorve subitamente todos os produtos no momento em que são gerados, fato que foi corroborado em entrevista realizada com gerente de vendas, o qual alegou ser raro sobrar produtos no estoque por falta de demanda – perdas por vencimento – devido ao rápido giro dessas mercadorias.

Para que essa pesquisa fosse viável, o pesquisador precisou coletar dados importantes na empresa estudada e, portanto, há uma metodologia para tal, a qual será definida e discutida no decorrer do texto. De forma sucinta os objetivos deste trabalho estão resumidos na seção seguinte.

1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi elaborar um planejamento estratégico de capacidade para uma indústria alimentícia. Para atingir tal fim, foi necessário atingir alguns objetivos específicos, sendo eles (i) definir um modelo com parâmetros de capacidade de processos, de capacidade requerida por produto e de restrições de demanda; (ii) apontar o *mix* de produção que maximiza a margem de contribuição da organização, dadas as restrições impostas pelo modelo; (iii) sinalizar recursos escassos do sistema – possíveis gargalos produtivos e limitações mercadológicas; (iv) identificar e propor possibilidades de otimização da capacidade instalada.

1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

Nesta seção, são descritos os métodos e técnicas de investigação utilizados neste trabalho. Serão ao todo cinco grandes etapas, discutidas nos subitens abaixo.

1.5.1 Pesquisa bibliográfica

Para a elaboração desta pesquisa, foram pesquisadas publicações científicas em periódicos relevantes na área de gestão da produção e de métodos de otimização. Essas publicações trataram da gestão estratégica de capacidade, no que tange a gestão da produção, e da definição do *mix* ideal de produção de uma indústria, no que tange a métodos de otimização

Assim, foi feita uma revisão bibliográfica, com o intuito de compreender o planejamento de capacidade. Além das publicações em periódicos, foram pesquisados livros relevantes da área estudada e que tragam definições consolidadas acerca de conceitos teóricos relativos ao planejamento estratégico de capacidade.

Esta foi uma etapa importante da pesquisa, pois é o momento que o autor teve para refletir sobre os objetivos do estudo e, caso necessário, realinhá-los, tendo em vista o que foi pesquisado nessa fase inicial. Inclusive, é nesta etapa que, com o auxílio daquilo que já está reportado na literatura encontrada, o pesquisador pode se apoiar sobre as melhores formas de se conduzir o trabalho.

1.5.2 Coleta de dados

Para a coleta de dados, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com o gestor responsável pela produção, bem como com líderes e com funcionários do chão de fábrica, a título de compreensão dos fluxos materiais e informacionais, tal como da extração dos

parâmetros que definiram o modelo elaborado. Essas entrevistas foram realizadas durante visitas do pesquisador à fábrica no período de novembro de 2021 a janeiro de 2022. O Quadro 1 expõe de forma resumida as informações que foram obtidas de cada entrevistado.

Quadro 1 - Informações levantadas por entrevistado

Entrevistado	Função	Informações
1	Supervisor de produção	Mix de produtos da linha estudada; como é decidido o mix de produtos; existe percepção se um produto é mais rentável ou não; estratégia de marketing para portfólio; capacidade disponível por recurso estimada atualmente; existe alguma percepção sobre utilização e eficiência? Existe algum ponto de melhoria já identificado neste setor?
2	Líder de produção	Quais os fluxos produtivos? Quem são os responsáveis por execução de tarefas? Como considera a disponibilidade de recursos? Poderia produzir mais? Perde-se muita capacidade? Principais problemas que observa? Produtos que prefere produzir? Pessoal hoje é suficiente, precisa de mais? De menos? Como programa a produção?
3	Gerente de vendas	Estimativa de vendas para produtos recém-introduzidos; qual a perspectiva de mercado? É importante ter produtos diferentes para entrar em novos mercados? Produtos com mais saída? Produto que poderia entrar melhor no mercado caso houvesse mais produção; algum produto poderia parar de fazer por falta de demanda?

Fonte: Elaboração própria

1.5.2.1 Histórico de vendas

Para compreender bem a demanda dos produtos da linha de produção escolhida, foi feito um levantamento do histórico de vendas dos mesmos através de consultas a relatórios

gerados no software de gestão da organização, usualmente conhecido como *Enterprise Resource Planning* (ERP).

Esse histórico ficou limitado ao período de janeiro de 2015 a dezembro de 2021, totalizando um horizonte de 7 anos. A justificativa para essa janela reside no fato da disponibilidade de dados históricos de venda para serem consultados. Alguns produtos foram introduzidos recentemente e, para estes, a previsão ficou desfalcada de alguns anos de informações.

Um ponto que merece destaque é a questão da pandemia de covid-19. Embora se trate de uma empresa do ramo alimentício, que usualmente é uma das últimas a ser afetada em crises de demanda, isso de certa forma afetou as vendas ao longo dos anos de 2020 e 2021, tendo impacto, pois, na previsão de vendas. (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2020) (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020).

Em função do modelo ser altamente adaptável, caso a empresa demonstre interesse, ela poderá atualizar esse histórico bem como ampliar o espaço temporal analisado, inclusive alterando a escala temporal para meses e fazer um planejamento semestral de capacidade. Poderá ainda simplificar as variáveis de decisão apenas nos tipos de farofa, sem discriminar a marca e a configuração de embalagem.

Essas informações foram fundamentais para o desenvolvimento do trabalho, uma vez que introduziram as primeiras restrições ao modelo de otimização de *mix* de produção. Isso é fato pois, caso não existissem, o *mix* sugerido poderia ser incompatível com a demanda real dos produtos. Assim, com essa série histórica em mãos, foi estimada uma previsão de vendas para cada produto. No caso de produtos recém-introduzidos, estimou-se, junto ao gestor de vendas, sobre um número factível de demanda, bem como seus limites, através de métodos qualitativos e empíricos.

Cada variável respeitou um conjunto de restrições de demanda, sendo as informações reunidas na Tabela 2, disponível na seção 3.3. Para se chegar a esses valores, o pesquisador utilizou o *software* de planilhas eletrônicas da Microsoft, o Excel, para realizar a previsão. Foram utilizadas funções nativas do programa para prever séries históricas pelo método da suavização exponencial, sendo que o próprio software já otimiza os parâmetros da suavização. Um intervalo de confiança foi estimado usando-se uma função também nativa. Os limites superiores e inferiores foram utilizados como parâmetros para a modelagem do problema. Assumiu-se que a previsão de vendas retrata de maneira satisfatória a previsão de demanda do mercado pelos produtos produzidos na linha de produção estudada.

1.5.2.2 Fluxograma de processos

À parte do histórico de vendas, realizou-se um mapeamento dos fluxos produtivos para compreender a natureza da linha produtiva. Após validar este mapeamento, o pesquisador descreveu os dois principais tipos de fluxo da linha de produção estudadas. Estão disponíveis em **Figura 5** e **Figura 6**. Serão explicados de maneira detalhada na seção 3.1.

1.5.2.3 Capacidades dos processos

Como a disponibilidade de recursos é finita – estão disponíveis para uso apenas durante o turno de trabalho –, definiu-se a capacidade disponível de um recurso. Pode ser compreendida como o total de minutos de operação disponíveis de um dado recurso no horizonte de planejamento que, neste caso, é de 1 ano, levando-se em consideração um fator de utilização e um fator de eficiência, os quais serão melhor detalhados no segundo capítulo deste trabalho.

Essa disponibilidade de recurso é consumida por produto numa taxa em minutos por fardo ou caixa (a depender do produto). O somatório do consumo anual de todos os produtos para cada recurso limita o quanto de cada item pode ser manufaturado naquele processo.

Para o cálculo da disponibilidade de minutos por turno, o pesquisador lançou mão de uma entrevista semiestruturada com o supervisor de produção, obtendo detalhes sobre (i) duração de turno; (ii) quantidade de turnos diários; (iii) duração de descansos; (iv) fator de utilização de capacidade; (v) fator de eficiência de capacidade.

1.5.2.4 Capacidade requerida por produto

Para cada etapa do processo foi obtido um tempo padrão de processamento associado ao produto analisado em sua unidade padrão de medição, que será a maior unidade de venda – fardo ou caixa. Portanto, cada produto da linha de produção estudada terá uma taxa de consumo em minutos por fardo (min/fd) ou minutos por caixa (min/cx) de cada recurso da produção (podendo inclusive ser zero, caso não passe por algum processo). Essa taxa pode ser definida como a **capacidade requerida** de um recurso para a fabricação de uma unidade de produto. Os dados coletados estão resumidos na seção 3.4.2.

1.5.3 Modelagem

O modelo elaborado tratou de maximizar as margens de contribuição dos produtos da linha de farofas da empresa estudada. São produzidos ao todo 11 produtos em diferentes configurações de embalagens agrupadas em fardos ou caixas contendo um número de unidades

de produto pré-determinados, resultando em 18 variáveis de interesse, reunidas no **Quadro 2**, na seção 3.1.

Essas 18 variáveis de interesse definem a função objetivo do modelo, acompanhadas de suas respectivas margens de contribuição, que foram informadas pela organização ao pesquisador e resumidas na Tabela 1, seção 3.2. Quanto maior a margem de contribuição, mais o modelo priorizará a manufatura daquele determinado item, em decorrência da natureza linear do problema.

O pesquisador optou por dividir os produtos entre as diferentes marcas e configurações de embalagem, pois diferem nas restrições de demanda e nas margens de contribuição. Inclusive nas restrições de processo, dado que uma farofa embalada em 500g requer menos tempo de recurso por unidade produzida do que uma de 250g, devido a economia de escala do empacotamento, por exemplo – enquanto para a primeira apenas um ciclo de máquina é realizado para produzir 500g de produto, para a segunda, são necessários 2 ciclos de máquina de empacotamento. Além disso, para um mesmo produto, podem haver diferentes configurações de fardo, o que deve impactar na capacidade requerida do processo de enfardamento.

Os ganhos do modelo possuem restrições de processo e de demanda, conforme explicado anteriormente. Portanto, há um grupo de restrições que utiliza os dados coletados referentes a capacidade dos processos e a capacidade requerida por produto. Nenhum produto pode violar a capacidade disponível dos processos.

O segundo grupo é composto por restrições de demanda, as quais limitam as variáveis (fabricação de um determinado produto) num nível superior e inferior. O horizonte de planejamento é de 1 ano, de período único.

1.5.4 Análise dos resultados

Ao concluir a etapa de modelagem, o pesquisador analisou os resultados de seu trabalho. Foram identificados os *outputs* do modelo de modo a apontar recursos escassos e restrições críticas de demanda, indicados pelos *shadow price*.

Assim, se uma restrição estiver em seu limite e não apresentar folga, é sinal de que ela representa um recurso produtivo escasso ou limite de demanda crítico. Dentro do planejamento estratégico de capacidade foram discutidas as alternativas para o tomador de decisão ampliar capacidade de recursos críticos ou promover ações coordenadas de *marketing* que possam alterar a demanda por um determinado produto que seja mais vantajoso.

Também foi realizada uma análise de sensibilidade a fim de detectar como a variação da eficiência de operação impactaria no resultado global do modelo. Esses resultados permitiram com que, no planejamento estratégico de capacidade, o gestor possa saber até que ponto aumentar a capacidade faz sentido no cenário atual da linha produtiva estudada.

1.5.5 Planejamento estratégico de capacidade

Feita a análise dos resultados, foram sugeridas ações para a empresa estudada visando otimizar a utilização de sua capacidade e obter vantagens competitivas frente aos competidores de mercado.

Para tanto, foram estudadas possibilidades de incremento de capacidade, por meio do aumento da eficiência geral dos processos. Embora inicialmente o pesquisador pretendesse analisar possibilidades de investimento em equipamento, isso se tornou inviável após a análise dos resultados, que demonstrou destacada ineficiência da linha produtiva.

Portanto, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com colaboradores da organização – anexadas ao final do trabalho, onde foram discutidas as razões deste número baixo, além de pontos de melhoria já detectados.

Essas oportunidades serão discutidas na seção 4, de resultados e discussão.

2. PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE CAPACIDADE

No decorrer deste capítulo, é apresentado ao leitor um levantamento bibliográfico acerca do planejamento estratégico de capacidade. Dessa forma, trabalhos relevantes na área foram estudados e deles extraídos conceitos importantes para a compreensão do presente estudo.

2.1 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE CAPACIDADE

Para iniciar a discussão acerca do planejamento estratégico de capacidade, faz-se necessário definir, antes de mais nada, o que é capacidade. De acordo com Chapman (2006), capacidade é a taxa de produção de saída de um processo, medida usualmente em unidades produzidas numa dada unidade de tempo. Argumenta, porém, que há exceções a essa regra, geralmente as organizações do ramo de serviços, como o caso dos hospitais, que medem sua capacidade em termos de leitos disponíveis (CHAPMAN, 2006).

Em seu livro sobre planejamento e controle da produção, Lustosa *et al.* (2008) trazem outras definições importantes acerca de capacidade, as quais contribuirão para uma melhor compreensão deste trabalho por parte do leitor.

A primeira trata da capacidade projetada de uma planta industrial, que é aquela máxima, sob as condições ideais de operação, num turno de trabalho. Expõem que as organizações evitam atuar nessas condições, uma vez que induz a grandes tensões no ambiente produtivo e impossibilita a absorção de flutuações seja na oferta de insumos, seja na demanda por produtos acabados.

A segunda trata da capacidade efetiva, que é determinada por meio da capacidade projetada, multiplicada por um fator de utilização, determinado pela gerência das empresas a fim de atender um nível de produção sem comprometer a qualidade dos produtos.

Por fim, existe a capacidade operacional, apurada através da capacidade efetiva multiplicada por um fator de eficiência, que é dependente de como os processos internos são geridos e executados. É, dessa forma, a razão entre os resultados das operações e a capacidade efetiva (LUSTOSA *et al.*, 2008).

Para além dos tipos de capacidade, o planejamento de capacidade pode ser compreendido em três diferentes horizontes temporais, de acordo com Jacobs e Chase (2018):

- Longo prazo: períodos superiores a um ano, quando recursos produtivos – como fábricas, equipamentos e instalações – levam tempo para serem

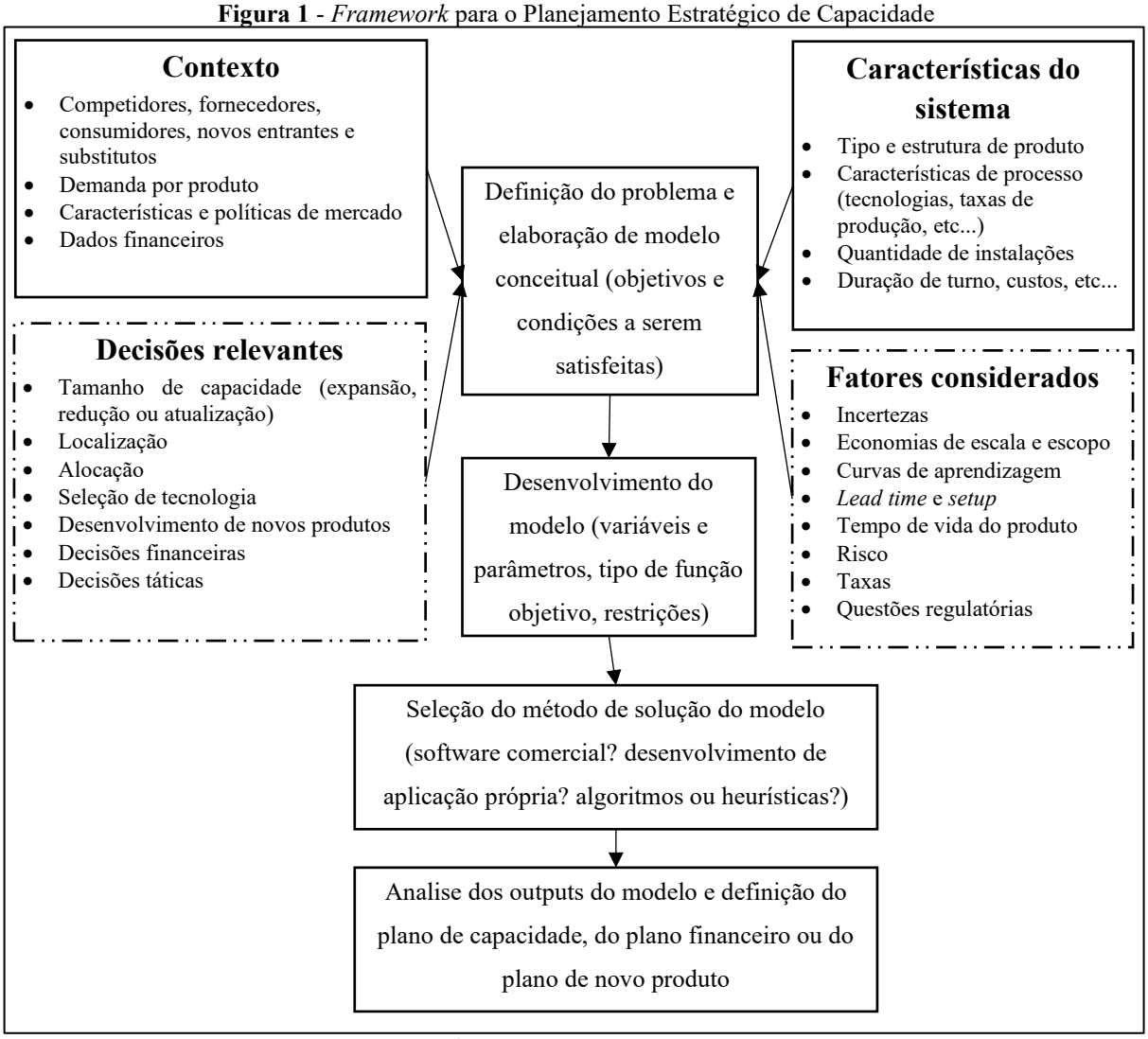
adquiridos, vendidos ou descartados. Depende do envolvimento e aprovação da alta gerência.

- Médio prazo: planos mensais ou trimestrais, para um período de 6 a 18 meses. As decisões envolvem contratações, folgas, aquisição de novas ferramentas e de pequenos equipamentos, e subcontratação.
- Curto prazo: plano para um mês ou menos. Está atrelado ao sequenciamento diário ou semanal de processos, visando eliminar a diferenças entre *outputs* planejados e aqueles ocorridos de fato.

Assim, o objetivo do planejamento estratégico de capacidade é determinar o nível de capacidade geral dos recursos de capital intensivo, como instalações e equipamentos, além do tamanho da força de trabalho, que melhor atendam a estratégia de **longo prazo** da organização. O nível decidido tem implicações diretas na capacidade da empresa reagir a flutuações de demanda, na sua estrutura de custos, na política de estoque e na política de contratação (JACOBS e CHASE, 2018).

Essa definição de quanto, como e quando alterar as instalações, equipamentos e tamanho da força de trabalho não é tarefa trivial. Há que se apoiar, portanto, numa sistematização de decisões, a qual Martínez-Costa *et al.* (2014) trazem na literatura de planejamento estratégico de capacidade. Os autores sugerem um arcabouço conceitual para se executar esse planejamento, através de três grandes fases: definição do problema, modelagem e procedimento de solução. Quando definir o problema, deve-se considerar as características externas do ambiente e as características internas do sistema de manufatura. Em conjunto, deve-se ponderar as decisões relevantes sobre tamanho de capacidade e os fatores específicos que podem influenciar essas decisões. A Figura 1, adaptado do trabalho dos autores ilustra o conceito elaborado.

Figura 1 - *Framework* para o Planejamento Estratégico de Capacidade



Fonte: (MARTÍNEZ-COSTA *et al.*, 2014) (Adaptado)

Como forma de determinar o nível geral de recursos – instalações, equipamentos e tamanho da força de trabalho – lançou-se mão de ferramentas inerentes à Pesquisa Operacional (PO) a fim de modelar a realidade encontrada na indústria alimentícia estudada, para então determinar qual seu *mix* ideal de produção.

Aliás, quando busca-se otimizar o mix de produção, deve-se determinar a quantidade de cada produto a ser fabricado, visando a maximização do ganho total, com a ressalva de que esses itens podem ou não utilizar todos os recursos produtivos e que eles são escassos (SOBREIRO e NAGANO, 2013).

Com essa combinação ótima em mãos, o tomador de decisão identifica quais os recursos escassos na linha de produção bem como as restrições de demanda que limitam que os retornos da empresa sejam maiores. Portanto, pode saber exatamente onde investir recursos financeiros da empresa de modo a otimizar o plano estratégico de capacidade da organização.

Para se obter esse *mix*, o pesquisador precisa, portanto, de uma das ferramentas da PO, que é a programação matemática. Esta – uma subárea da PO – trata de problemas de decisão, representando a realidade através de um modelo – o qual contem variáveis e relações matemáticas entre elas – com o fim de descrever o comportamento de um sistema. Por meio de sua resolução, são determinados os valores para suas incógnitas – as quais são dependentes dos dados do problema – que dão suporte ao tomador de decisão. Esses modelos não são à prova de falhas e não substituem o tomador de decisão, uma vez que existem fatores pouco tangíveis e não quantificáveis, que também devem ser considerados na decisão final (ARENALES *et al.*, 2007).

Um pouco mais além, a programação linear é um tipo especial de programação matemática, na qual tanto função objetivo quanto suas restrições são expressas em função das variáveis de decisão por meio de relações lineares. O método simplex é o mais utilizado para a solução destes modelos, ainda que existam novas técnicas que se integrem ao simplex, com respostas cada vez mais eficientes para problemas cada vez mais robustos. Para todo problema de programação linear, há um problema dual, o qual permite o analista determinar a sensibilidade da solução para variações paramétricas além de prover novas interpretações para o problema inicial (CARTER, PRICE e RABADI, 2019).

Um exemplo da aplicação da programação linear no contexto de uma fábrica pode ser encontrado no trabalho de Godinho e Corso (2019). Os autores desenvolveram um modelo para identificar o *mix* ideal de produção de uma indústria de confecção, contendo 146 variáveis de interesse – produtos de moda masculina e feminina da coleção de inverno de 2018. Optou-se por não agrupar os produtos em famílias para que existisse flexibilidade de alterar as quantidades de produção de cada produto, podendo inclusive excluí-lo da coleção. O horizonte de planejamento foi de 100 dias úteis, com um quadro de 80 funcionários. Os parâmetros de lucro e capacidade requerida de processo foram previamente fornecidos pela empresa, bem como o número de vendas no período, que foi utilizado para prever a demanda. O modelo foi de maximização de lucros, com restrições de demanda – tanto inferior quanto superior – e de capacidade de processo disponível. Esta foi calculada através do número de funcionários, e do tempo total disponível para produção, desconsiderando horas extras e contratações. Identificaram um *mix* de produção que superava em 21,4% o lucro do mix previamente adotado pela empresa (GODINHO e CORSO, 2019).

Ainda no contexto das confecções, Santos *et al*. (2016) elaboraram um modelo similar ao anterior, porém introduzindo um grupo de restrições técnicas de matéria-prima, ou seja, cada uma dessas restrições representava a disponibilidade de insumo a ser consumido pela produção

de um ou mais produtos, através também de uma equação linear, de maneira similar a uma restrição de capacidade de processo disponível. O *mix* de produção otimizado encontrado por esses autores superou o resultado da confecção em 9,3% (DOS SANTOS *et al.*, 2016).

Para além da programação linear, cabe salientar que existem outras abordagens para se resolver o problema de determinação de *mix* de produção, que envolvem relações não lineares e trabalham as incertezas inerentes ao contexto produtivo das organizações.

Medeiros (2015) defende, por exemplo, o uso de algoritmos genéticos – portanto uma meta-heurística – com o intuito de prover soluções iniciais de um problema para, posteriormente, ser solucionado através programação linear – por meio do simplex, por exemplo – ou pela programação não linear, através do método de descida de gradiente. Realizou um estudo de caso numa fábrica de móveis, com dois produtos (cadeira e mesa de centro) por fins didáticos e 12 recursos produtivos, buscando maximizar o atendimento da demanda, minimizando custos, sem violar a capacidade disponível instalada de manufatura e a disponibilidade de matéria-prima (DE MEDEIROS, 2015).

A aplicação de algoritmos genéticos (GA) também é mencionada no trabalho de Teerasoponpong e Sopadang (2021). Vão além e introduzem conceitos de redes neurais artificiais (ANN) para resolver o problema de configuração de capacidade no contexto das pequenas e médias empresas. Enquanto a rede neural é usada como representação do funcionamento do sistema de manufatura, o algoritmo genético é usado para se obter a melhor configuração desse sistema, tendo como *input* a predição da rede neural. Aplicam o modelo numa padaria da Tailândia, que trabalha tanto em estratégia *make-to-order* quanto *make-to-stock*. Lá existem 6 processos produtivos e deseja-se determinar o número de máquinas e de pessoas em cada processo que otimize os ganhos da empresa. Foi estudada apenas a linha de produção de um determinado produto. Não foram considerados estoques nem trabalho em processo, devido à perecibilidade do produto. O horizonte de planejamento foi único. Observou-se crescimento de 6,86% na receita ao passo que os custos foram reduzidos em 14,34%, em relação a capacidade atual do negócio (TEERASOPONPONG e SOPADANG, 2021).

Zhuang e Chang (2017), por outro lado, propuseram um modelo de decisão de *mix* de produção amparado pelo Custeio Baseado em Atividades e Tempo (TDABC) numa manufatura cujos recursos produtivos são limitados. Para tanto, utilizaram a programação inteira mista onde são atribuídos os custos apenas dos recursos utilizados para cada objeto de custo, chegando a uma solução ótima. Compararam os resultados desse modelo com dois outros também de programação inteira mista, porém orientados pela Teoria das Restrições (TOC) e pelo Custeio

Baseado em Atividades (ABC). Concluíram que o TDABC é mais adequado que o ABC, bem como é orientado para os retornos de longo prazo e que pode ser resolvido em apenas uma etapa. Mencionaram que há um trade-off para a escolha entre TOC e TDABC: para o primeiro, há um enfoque no suprimento de recursos ao passo que para o segundo, enfatiza-se na utilização dos recursos (ZHUANG e CHANG, 2017).

Outra estratégia para planejamento de capacidade é discutida por Koren e Ceryan (2009). Em seu trabalho, buscaram uma decisão ótima de investimento de longo prazo em capacidade, focando em determinar se é mais vantajoso um sistema de capacidade flexível, de capacidade dedicada, ou uma combinação dos dois, para uma manufatura de dois produtos com demanda estocástica. Salientaram que sistemas de capacidade flexível podem se adaptar para produzir diferentes produtos, de maneira ágil e economicamente viável. Definiram um prêmio sobre o investimento em capacidade flexível, isto é, o custo adicional de uma unidade flexível de capacidade comparado a uma de capacidade dedicada. Na seção de resultados numéricos, detalharam como a variação dos preços dos produtos impacta na maximização da capacidade: quanto menor forem os preços, prioriza-se estratégias puramente flexíveis ou puramente dedicadas. Do contrário, torna-se mais rentável para a empresa uma combinação das estratégias. Com relação a variação de demanda, concluíram que quanto mais previsível for o mercado, a estratégia ótima de investimento em capacidade passa a favorecer sistemas dedicados (KOREN e CERYAN, 2009).

Finalmente, ressalta-se a importância do tema para a gestão de operações, dado que diversos autores estudaram e continuam se debruçando sobre o planejamento estratégico de capacidade. Como foi exposto, diferentes ferramentas e técnicas podem sem empregadas para a resolução do *mix* ótimo de produção, tal como as programações linear e não linear, algoritmos genéticos, redes neurais dentre outras. Embora esta pesquisa seja uma aplicação de programação linear, outras ferramentas também auxiliaram na compreensão do problema de planejamento de capacidade. Os trabalhos visitados nesta revisão bibliográfica reforçam a atualidade e pertinência desta pesquisa e, nesse sentido, o presente estudo serviu como uma aplicação dos conceitos pesquisados na otimização do *mix* de produção de uma indústria do setor alimentício, objetivando o desenvolvimento de um planejamento estratégico de capacidade.

3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Neste capítulo, é apresentado o modelo desenvolvido pelo pesquisador. Na primeira seção (3.1), são detalhados os processos produtivos da fábrica estudada, bem como estão expostos os produtos produzidos na linha estudada. Na segunda, seção 3.2, é apresentada a função objetivo, com suas variáveis e seus coeficientes. Na terceira seção (3.3), o autor discorre acerca das restrições de demanda e como foram estipuladas. Na última parte deste capítulo, seção 3.4, são apresentados os coeficientes das restrições de processo e a forma como foram obtidos.

3.1 O PROCESSO PRODUTIVO

Conforme apresentado na metodologia, a fábrica fabrica 18 produtos diferentes na linha de produção de farofas. São ao todo 8 sabores diferentes, produzidos para a marca própria e outros 4 para terceiros, em diferentes configurações de embalagem e fardo. Assim, essas informações encontram-se resumidas no **Quadro 2**.

Quadro 2 - *Mix* de produtos estudados e seus principais atributos

Variável	Marca	Embalagem	Pacotes por caixa ou fardo
TR1	A	500g	20 unidades
TR2	A	250g	20 unidades
TR3	B	500g	10 unidades
TR4	B	250g	10 unidades
TR5	C	500g	20 unidades
TR6	D	500g	20 unidades
CS1	A	250g	20 unidades
MI1	A	250g	20 unidades
MI2	B	250g	10 unidades
LI1	A	250g	20 unidades
GO1	E	400g	20 unidades
CH1	B	250g	10 unidades
PI1	B	250g	10 unidades
BA1	A	250g	20 unidades

Variável	Marca	Embalagem	Pacotes por caixa ou fardo
BA2	B	250g	10 unidades
BI1	A	500g	20 unidades
CC1	A	100g	24 unidades
CC2	A	100g	24 unidades

Fonte: Elaboração Própria

O processo produtivo estudado é composto por quatro etapas: (1) separação e pesagem; (2) mistura; (3) empacotamento e (4) enfardamento. Há que se destacar que os produtos BI1, CC1 e CC2 não passam pela primeira etapa e são adicionados diretamente ao misturador. Todas as farofas apresentam uma recirculação entre os recursos (1) e (2), em decorrência de haver apenas um misturador tanto para bater tempero quanto para bater farofa.

3.1.1 Separação e pesagem

Na etapa de separação e pesagem, um colaborador fica responsável por separar os ingredientes da receita de tempero, além de fracionar os ingredientes da farofa – o que inclui o tempero com sal e a gordura. O colaborador vai até o estoque de matéria-prima e traz os ingredientes para a bancada, onde realiza pesagens numa balança digital de mesa. Alguns ingredientes não necessitam de pesagem e vão diretamente para a etapa de batida, sendo utilizados na quantidade em que vêm embalados. A **Figura 2** ilustra o local onde as atividades do primeiro processo ocorrem.

Figura 2 - Setor de separação e pesagem

Fonte: Arquivo do autor

A receita do tempero é separada e colocada ao lado do misturador para que, no horário de almoço, possa ser batida. Concluído este processo, o tempero batido é escoado para uma caixa plástica e retorna para a área da **Figura 2**, quando ocorrerá o seu fracionamento, junto com o do sal. Tanto gordura, quanto tempero e sal são fracionados à medida que a etapa seguinte, do misturador, vai necessitando de mais matéria-prima. Esses itens são transportados em sacos plásticos transparentes. Evita-se estocar gordura e tempero fracionados para não perderem as propriedades de sabor e textura. De acordo com entrevistas realizadas, este é o processo que mais apresenta ociosidade, podendo um colaborador separar ingredientes para os dois turnos.

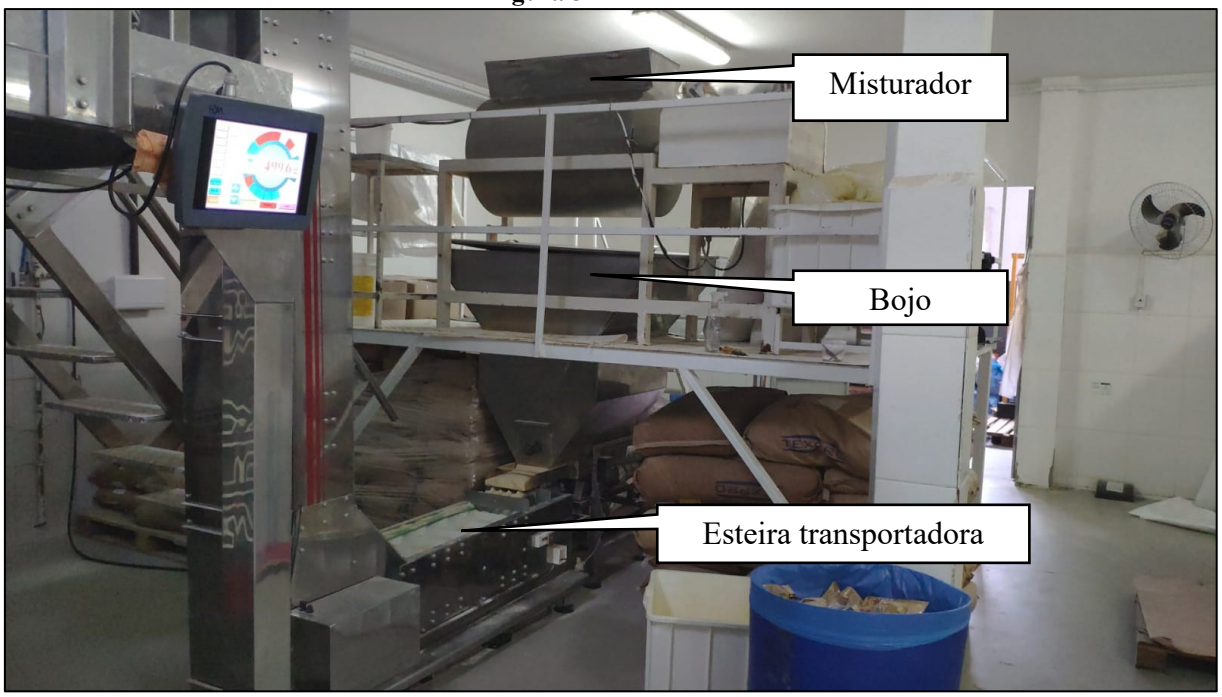
3.1.2 Misturador

Um outro colaborador é responsável pelo setor de misturas. Ele recebe os itens na quantidade exata para uma batida, seja de farofa (até 90kg) ou de tempero (até 250kg) e assim alimenta o misturador automático, que bate os itens por um tempo preestabelecido. As quantidades da batida de farofa ou de tempero dependem de qual sabor está sendo produzido. Essas proporções não foram passadas pela empresa por se tratar de um segredo de fabricação.

Em se tratando do tempero, toda a mistura é escoada para caixas plásticas que retornarão para a etapa anterior, para que o produto intermediário seja fracionado na quantidade requerida para uma batida de farofa. Esse processo envolve a adaptação de uma peça da máquina, que deve ser instalada e removida toda vez que é produzido tempero, além da limpeza

completa do misturador – portanto um *setup*. Geralmente ocorre nas pausas para almoço, quando a produção é interrompida, uma vez que não requer supervisão a partir do momento que inicia a mistura, a qual levará em média, o tempo do almoço para ser concluída. No caso da produção de farofa, o tempo de mistura é bem mais curto e, assim que concluído, a farofa pronta é transferida para um bojo cuja capacidade é de três receitas de farofa. Esse bojo alimenta uma esteira transportadora que levará o produto para a fase subsequente, de empacotamento. A **Figura 3** ilustra a plataforma com o misturador e seu bojo subsequente.

Figura 3 - Misturador



Fonte: Arquivo do autor

3.1.3 Empacotamento

A etapa de empacotamento é totalmente automatizada – a máquina pesa a quantidade de farofa que cairá no pacote selando-o automaticamente. Um operador fica responsável por ajustes simples de máquina, além de executar um controle de qualidade visual, verificando se os pacotes estão dentro das especificações técnicas (data e validade corretas, selagem do pacote, alinhamento da arte e peso do pacote, por exemplo). Por meio de outra esteira, o pacote – já com o produto dentro e devidamente selado – segue para a etapa final.

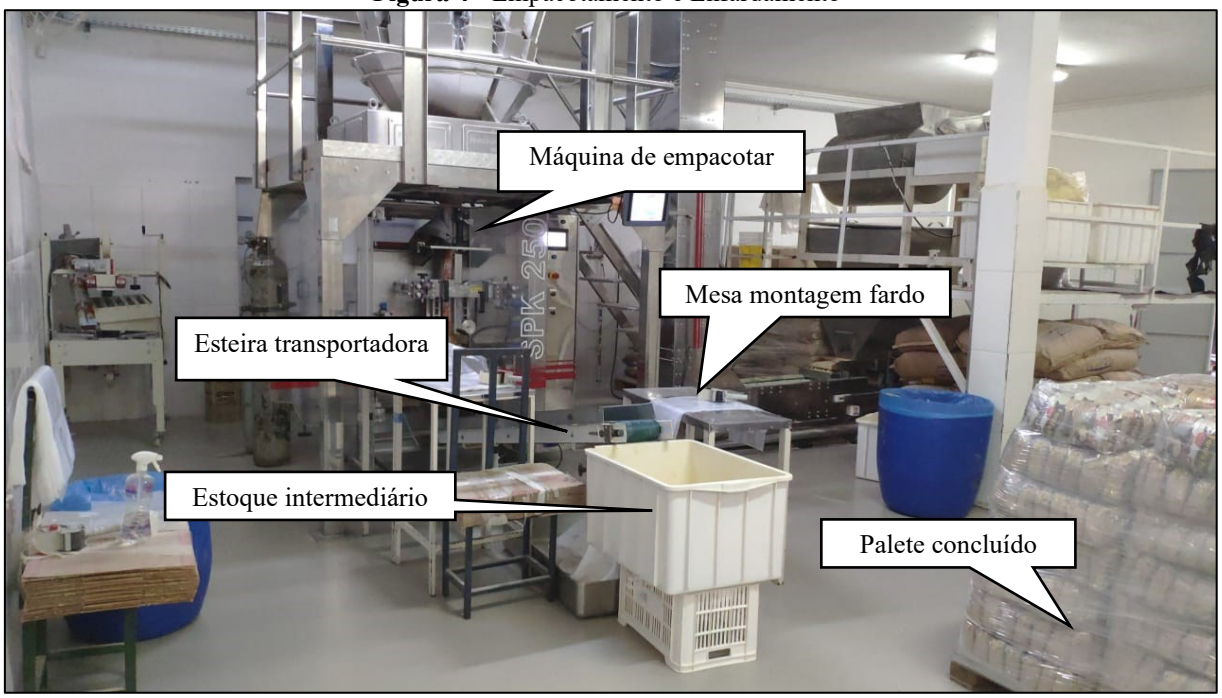
3.1.4 Enfardamento

No posto de enfardamento, tanto o operador da máquina de empacotar quanto seu auxiliar trabalham enchendo sacos plásticos com os pacotes de farofa, gerando, pois, o fardo de produto acabado. Este é depositado num palete que fica próximo ao posto de trabalho e, assim

que completado, é envolto num filme plástico e transportado para o estoque, finalizando o processo estudado.

A **Figura 4** ilustra a máquina de empacotar seguida do posto de enfardamento.

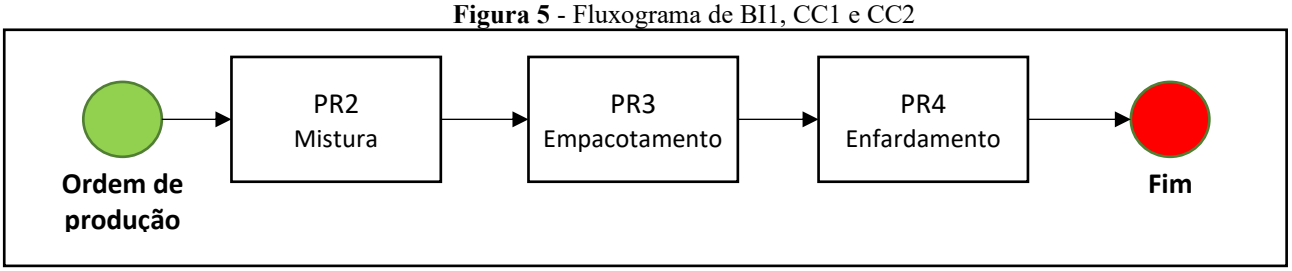
Figura 4 - Empacotamento e Enfardamento



Fonte: Arquivo do autor

A **Figura 5** abaixo ilustra o fluxo dos processos para os produtos BI1, CC1 e CC2, que dispensa o processo 1, de separação e pesagem. Esses produtos são: farinha de biju, coco ralado e coco flocado.

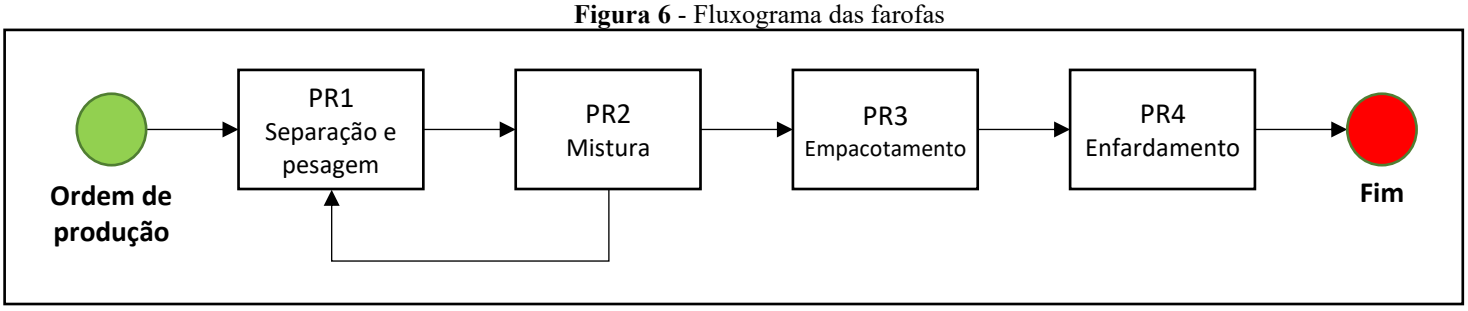
Figura 5 - Fluxograma de BI1, CC1 e CC2



Fonte: Elaboração Própria

Já a **Figura 6** retrata o fluxograma de todas os outros produtos. Conforme discutido, existe uma recirculação entre os processos 1 e 2, em função de existir apenas um misturador para realizar tanto batidas de tempero quanto batidas de farofa. Assim, o processo de inicia na separação e pesagem, segue para a mistura e retorna para a etapa anterior, onde o tempero pronto é fracionado em sacos plásticos na quantidade requerida para uma batida de farofa, junto com o sal.

Figura 6 - Fluxograma das farofas



Fonte: Elaboração Própria

3.2 A FUNÇÃO OBJETIVO

A função objetivo do modelo matemático tem como finalidade maximizar a margem de contribuição dos produtos, objetos de estudo deste trabalho. Essas margens foram previamente determinadas pelo setor financeiro da empresa estudada, uma vez que há um elevado grau de complexidade no que se refere às questões tributárias. As margens unitárias foram normalizadas – dividindo cada uma delas pela maior margem unitária – e multiplicadas pela quantidade de pacotes em um fardo. Esses valores foram reunidos na **Tabela 1** e servirão como os coeficientes para as variáveis da função objetivo.

Tabela 1 - Margem de contribuição por variável

Variável	Margem de contribuição por fardo	Variável	Margem de contribuição por fardo
TR1	R$ 9,42	LI1	R$ 4,75
TR2	R$ 5,08	GO1	R$ 6,25
TR3	R$ 4,08	CH1	R$ 1,42
TR4	R$ 1,96	PI1	R$ 1,92
TR5	R$ 5,17	BA1	R$ 5,25
TR6	R$ 5,17	BA2	R$ 2,21
CS1	R$ 5,08	BI1	R$ 20,00
MI1	R$ 4,17	CC1	R$ 11,30
MI2	R$ 1,67	CC2	R$ 11,70

Fonte: Elaboração Própria

Com esses coeficientes em mãos e as variáveis já determinadas, a função objetivo pode ser definida por

$$max\, Z = \sum_{i=1}^{n} mc_i X_i \,, \quad \forall i \in P \,, \tag{1}$$

em que:

- Z é a margem de contribuição total para o horizonte de planejamento (R$);
- $P = (1,\ 2,\ \ldots,\ n)$ é o conjunto de todos os produtos;
- X_i é a quantidade a ser produzida do produto i, na sua unidade de medida (fardo);
- mc_i é a margem de contribuição do produto i (R$/fardo).

3.3 RESTRIÇÕES DE DEMANDA

Como discutido anteriormente, para se determinar os limites de demanda do problema, utilizou-se o histórico de vendas dos produtos. Embora isso seja uma aproximação da realidade e incorra em algumas distorções, uma vez que demanda e venda não são iguais, foi uma simplificação para que se tornasse o estudo viável.

Dados de vendas desde 2015 foram extraídos do ERP da organização, agrupados por variável estudada e por ano. Essas informações foram tabeladas no *software* Excel, onde a função "=PREVISÃO.ETS(data alvo; valores; linha do tempo)" foi utilizada para se fazer uma previsão dos dados para o ano de 2022, por meio do método de suavização exponencial. Os parâmetros foram informados pela função "=PREVISÃO.ETS.STAT(valores; linha do tempo; estatística)".

Para determinação dos limites superior e inferior de cada produto, tomou-se como base a previsão explicada anteriormente e somou-se e subtraiu-se, respectivamente um intervalo de confiança gerado pela função "=PREVISÃO.ETS.CONFINT(data alvo; valores; linha do tempo; nível de confiança)". Por padrão, como encontrado em softwares estatísticos, foi utilizado o nível de confiança utilizado de 95%.

Inclusive, para produtos que foram recentemente introduzidos e, portanto, com uma série histórica insuficiente, uma previsão foi feita utilizando-se métodos qualitativos, junto ao gestor comercial, quem validou inclusive as previsões realizadas pelo próprio Excel, fazendo eventuais ajustes, caso julgasse necessário.

Dessa forma, a previsão pode ser resumida na **Tabela 2**, sendo que cada limite inferior e superior foi utilizado como parâmetro para as restrições de demanda de cada variável do problema. Os parâmetros da suavização se encontram na mesma tabela. Os produtos sem série histórica não possuem parâmetros.

Tabela 2 - Previsão de demanda limites e parâmetros

Variável	Limite inferior	Previsão	Limite superior	Alfa	Beta	Gama
TR1	17.798	33.550	49.303	0,900	0,001	0,000
TR2	2.651	7.180	11.709	0,900	0,001	0,000
TR3	570	600	630	-	-	-
TR4	380	400	420	-	-	-
TR5	9.892	12.061	14.230	0,100	0,099	0,000
TR6	2.000	2.302	4.000	0,900	0,001	0,000
CS1	6.606	8.500	10.394	0,250	0,001	0,000
MI1	4.243	4.885	5.528	0,500	0,001	0,000
MI2	200	212	400	-	-	-
LI1	1.089	1.265	1.441	0,002	0,001	0,000
GO1	1.215	1.279	1.343	-	-	-
CH1	336	354	372	-	-	-
PI1	304	320	336	-	-	-
BA1	2.284	2.404	2.525	-	-	-
BA2	412	434	456	-	-	-
BI1	800	1.477	2.153	0,900	0,001	0,000
CC1	1.614	2.086	2.557	0,900	0,001	0,000
CC2	1.808	2.095	2.381	0,900	0,001	0,000

Fonte: Elaboração Própria

A inequação (2), na sequência, resume como foram montadas todas as restrições de demanda para o problema de otimização.

$$d_i^- \leq X_i \leq d_i^+, \quad \forall i \in P, \ (d_i^-, d_i^+) \in D, \tag{2}$$

em que:

- $D = \{(d_1^-, d_1^+), (d_2^-, d_2^+), \ \dots, (d_n^-, d_n^+)\}$ é o conjunto de todos os limites inferiores e superiores de demanda por produto i
- $P = (1,\ 2,\ \dots,\ n)$ é o conjunto de todos os produtos;
- X_i é a quantidade a ser produzida do produto i, na sua unidade de medida (fardo);

3.4 RESTRIÇÕES DE PROCESSO

3.4.1 CAPACIDADE DISPONÍVEL POR PROCESSO

Conforme apontado na seção 1.3, assumiu-se que todos os recursos estão igualmente disponíveis, não havendo diferença entre um e outro.

Posto isso, um turno dispõe de 540 minutos (9 horas diárias). Desses, subtraem-se 60 minutos para almoço e 15 minutos para lanche, restando 465 minutos diários de tempo de operação ao longo do ano, que em 2022 terá 252 dias úteis.

Descontam-se 60 minutos de cada turno para paradas programadas tais como manutenção, limpeza e pausas, restando 405 minutos de operação por turno por dia. Como na linha estudada existem dois turnos de produção, o ano possui uma disponibilidade de 204.120 minutos por processo. Contudo, essa capacidade não é utilizada integralmente pela linha de produção, pois dessa ainda se deduzem paradas não programadas, perdas de produtividade e de qualidade. São elas manutenção corretiva (quebra), falta de matéria prima, falta de pessoal, lentidão do equipamento, quedas de energia, produtos defeituosos dentre outras situações.

Diante desse cenário, o pesquisador obteve, por meio da gerência responsável, a média de eficiência da linha de produção nos últimos seis meses, que ficou em torno de 35% – um número muito abaixo do esperado conforme Macêdo Barbalho *et al.* (2021), sendo este o número que multiplicará a disponibilidade total de cada recurso. Assim, cada recurso possuirá uma disponibilidade total anual de 71.442 minutos. Esse baixo índice de eficiência será um motivo para discussão futura.

De acordo com entrevista realizada com a supervisão de produção, o processo de separação e pesagem (processo 1) costuma ficar ocioso, ao passo que os processos de mistura (processo 2) e enfardamento (processo 4), em alguns momentos, apresentam sobrecarga. Desse modo, sugeriu-se que o modelo permitisse uma intercambialidade entre o tempo ocioso do processo 1 para os processos 2 e 4. Para tanto, foram criadas duas variáveis no modelo, as quais subtraem capacidade do primeiro processo e adicionam cada uma aos processos 2 e 4.

3.4.2 CAPACIDADE REQUERIDA POR PRODUTO POR PROCESSO

A capacidade requerida por produto por processo é a taxa de consumo de capacidade de um recurso em função da quantidade produzida. Essas taxas foram definidas em minutos por fardo ou minutos por caixa.

Assim, cada recurso dispõe de uma capacidade disponível, que será consumida para a produção de cada fardo ou caixa de um dado produto. Ao somar-se a capacidade consumida por todos fardos fabricados em um processo, essa não pode superar a disponibilidade do recurso.

A inequação (3) traduz matematicamente o que foi exposto nos parágrafos anteriores.

$$\sum_{i=1}^{n} cr_{ir} X_i \leq cd_r, \quad \forall i \in P, \forall r \in R, \tag{3}$$

em que:

- $R = (1,\ 2,\ \ldots,\ m)$ é o conjunto de todos os recursos
- $P = (1,\ 2,\ \ldots,\ n)$ é o conjunto de todos os produtos;
- X_i é a quantidade a ser produzida do produto i, na sua unidade de medida (fardo ou caixa);
- cr_{ir} é a capacidade requerida do recurso r pelo produto i
- cd_r é a capacidade disponível do recurso r

Os coeficientes cr_{ir} serão detalhados para cada processo nas subseções seguintes.

3.4.2.1 Processo 1 – Separação e pesagem

Conforme descrito na seção 3.1, a capacidade requerida por produto deste processo envolve o tempo de separação da receita de tempero, o fracionamento da gordura, o fracionamento do tempero junto com o sal, além do da proteína – no caso da variável GO1. Os dados estão resumidos na **Tabela 3**. Os produtos BI1, CC1 e CC2 não passam por este processo e, portanto, não consomem capacidade.

Tabela 3 - Capacidade requerida por produto do Processo 1

Variável	Capacidade requerida (min/fd)	Variável	Capacidade requerida (min/fd)
TR1	0,181559	**LI1**	0,107801
TR2	0,0907793	**GO1**	0,345999

Variável	Capacidade requerida (min/fd)	Variável	Capacidade requerida (min/fd)
TR3	0,0907793	**CH1**	0,05493
TR4	0,0453897	**PI1**	0,057726
TR5	0,181559	**BA1**	0,0979019
TR6	0,181559	**BA2**	0,048951
CS1	0,0951416	**BI1**	-
MI1	0,104777	**CC1**	-
MI2	0,0523886	**CC2**	-

Fonte: Elaboração Própria

3.4.2.2 Processo 2 – Mistura

Esta etapa tem sua capacidade consumida tanto pela batida de tempero quanto pela mistura de uma receita de farofa. Os coeficientes estão resumidos na **Tabela 4**.

Tabela 4 - Capacidade requerida por produto do Processo 2

Variável	Capacidade requerida (min/fd)	Variável	Capacidade requerida (min/fd)
TR1	0,893757	**LI1**	0,541844
TR2	0,446879	**GO1**	0,969867
TR3	0,446879	**CH1**	0,250068
TR4	0,223439	**PI1**	0,25174
TR5	0,893757	**BA1**	0,467982
TR6	0,893757	**BA2**	0,233991
CS1	0,48148	**BI1**	0,166667
MI1	0,552565	**CC1**	0,133333
MI2	0,246283	**CC2**	0,133333

Fonte: Elaboração Própria

3.4.2.3 Processo 3 – Empacotamento

Os coeficientes de consumo de capacidade do processo 3, o empacotamento, estão resumidos na **Tabela 5**.

Tabela 5 - Capacidade requerida por produto do Processo 3

Variável	Capacidade requerida (min/fd)	Variável	Capacidade requerida (min/fd)
TR1	0,714286	**LI1**	0,666667
TR2	0,666667	**GO1**	0,714286
TR3	0,357143	**CH1**	0,333333
TR4	0,333333	**PI1**	0,333333
TR5	0,714286	**BA1**	0,666667
TR6	0,714286	**BA2**	0,333333
CS1	0,666667	**BI1**	0,714286
MI1	0,666667	**CC1**	1,71429
MI2	0,333333	**CC2**	1,71429

Fonte: Elaboração Própria

3.4.2.4 Processo 4 – Enfardamento

Os coeficientes de consumo de capacidade do processo 3, o empacotamento, estão resumidos na **Tabela 6**.

Tabela 6 - Capacidade requerida por produto do Processo 4

Variável	Capacidade requerida (min/fd)	Variável	Capacidade requerida (min/fd)
TR1	0,7	**LI1**	0,666667
TR2	0,7	**GO1**	0,7
TR3	0,55	**CH1**	0,53333
TR4	0,53333	**PI1**	0,53333
TR5	0,7	**BA1**	0,7
TR6	0,7	**BA2**	0,53333
CS1	0,7	**BI1**	0,7
MI1	0,7	**CC1**	0,5515
MI2	0,53333	**CC2**	0,5515

Fonte: Elaboração Própria

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo foi executado e apresentou uma margem otimizada de R$762.316. Foram necessárias duas iterações no algoritmo para que se chegasse a uma resposta ótima, que foi obtida quase que de forma instantânea. A solução ótima encontra-se resumida na Tabela 7. Para apreciação do modelo na íntegra, sugere-se consulta ao ANEXO D – MODELO LINGO.

Tabela 7 - Variáveis e seus valores otimizados

Variável	Valor Ótimo	Variável	Valor Ótimo
TR1	49.303	**LI1**	1.089
TR2	11.709	**GO1**	1.343
TR3	630	**CH1**	336
TR4	380	**PI1**	304
TR5	9.892	**BA1**	2.525
TR6	3.274	**BA2**	412
CS1	10.394	**BI1**	2.153
MI1	4.243	**CC1**	281
MI2	200	**CC2**	1.808

Fonte: Elaboração Própria

As folgas das restrições dos processos produtivos estão resumidas na **Tabela 8**, bem como os respectivos *shadow prices*.

Tabela 8 - Folga dos recursos produtivos

Processo	Folga (min)	*Shadow price*
Separação e Pesagem	55.270	0
Mistura	0	0
Empacotamento	0	7,238
Enfardamento	1.961	0

Fonte: Elaboração Própria

Antes mesmo de analisar a saída do modelo, deve-se observar que a disponibilidade dos recursos é subutilizada. Um índice de eficiência de 35% – conforme informado pela supervisão – revela grande desperdício da capacidade disponível, ainda que os cálculos dos

parâmetros tenham sido conservadores, com um desconto de uma hora por turno para manutenção e reinício de atividades. Em média apenas um *setup* ocorre por dia, sendo que o turno da noite pode aproveitar o que foi realizado pelo turno do dia e vice-versa.

Ao entrevistar a colaboradora responsável por liderar o setor, a mesma alegou que atualmente se perde muito tempo em *setups* e paradas de máquina para manutenção, além das paradas para esvaziar um estoque intermediário, indicado na **Figura 4**, entre o processo 3 e 4, momento esse em que a produção é interrompida. Informou, inclusive, que o número de colaboradores no setor aumentou nos anos recentes, fato que não veio acompanhado de aumentos expressivos de produção. Outras justificativas para este baixo índice de eficiência, apresentadas pela entrevistada, foram a falta de treinamento para operação dos equipamentos – ocasionando falta de domínio sobre o maquinário, e desmotivação da equipe – em decorrência de incompatibilidade de perfil dos operadores com o ofício que exercem.

Para esse índice de eficiência, o modelo indicou que tanto misturador quanto máquina de empacotar são recursos escassos, pois não apresentam folga na restrição de capacidade. Contudo, apenas incrementos de capacidade de empacotar refletiriam em ganhos na margem de contribuição, uma vez que a restrição de capacidade correspondente apresenta *shadow price* diferente de zero, ou seja, cada minuto acrescido por ano na capacidade da máquina de empacotar incrementaria o equivalente ao *shadow price* na função objetivo, com um ganho de R$7,238 por minuto, conforme resultado do modelo.

Somente o acréscimo de capacidade no empacotamento implica em melhora da função objetivo, pois parte da capacidade de separação e pesagem foi deslocada para o misturador através de uma variável auxiliar, que subtrai capacidade de um processo e escoa para outro. O resultado do modelo indicou a utilização de 1.362 minutos do processo de separação e pesagem para auxiliar a etapa de mistura. Nesse sentido, aumentar a capacidade de mistura implicaria em excesso de capacidade, dado que o colaborador da separação e pesagem pode atuar em dois processos diferentes, compartilhando assim, seu tempo ocioso com os momentos de sobrecarga no processo de mistura. Isso inclui buscar matéria-prima no estoque e auxiliar a colocá-la na plataforma do misturador, tarefa que mais consome tempo e esforço, conforme visão dos funcionários responsáveis pelo processo.

Novamente: não quer dizer que nos momentos que o misturador apresentar sobrecarga o funcionário da separação e pesagem estará ocioso – logo disponível para ser realocado – nem mesmo que a ajuda aumentará a capacidade de uma batida – esse limite é definido pelas dimensões do equipamento. Porém é um bom indicativo de que existe tempo ocioso e que não

faz sentido investir em um novo misturador, por exemplo, sendo que ele poderia ficar ativo por mais tempo, sem pausas para carregá-lo.

Esse cenário vai de encontro tanto ao que fora reportado pelo supervisor de produção quanto pela líder de produção, que alegaram ser o misturador o recurso escasso do sistema. É bem verdade que a existência de um único misturador para bater tanto tempero quanto farofa possa levar a crer que este recurso seja um gargalo no sistema. Porém, não é o que o modelo indica nos resultados. Nesse sentido, uma melhor coordenação entre os dois colaboradores pode aumentar a disponibilidade do misturador, permitindo que trabalhe menor ocioso.

A demanda limitou o *mix* em diferentes casos. As seguintes variáveis atingiram o limite superior de demanda: TR1, TR2, TR3, CS1, GO1, BA1 e BI1. Já as variáveis que atingiram o limite inferior de demanda foram: TR4, TR5, MI1, MI2, LI1, CH1, PI1, BA2, CC1 e CC2. A variável que ficou entre os dois limites foi apenas a TR6, com folga inferior de 1.274 fardos e folga superior de 725 fardos. Todos os limites encontram-se na **Tabela 2**, seção 3.3.

Embora alguns produtos tenham atingido o limite inferior de demanda, isso não quer dizer que todos devam ser excluídos do portfólio da indústria. Conforme visão do gerente de vendas, apenas os itens LI1 e MI1 têm uma maior dificuldade de absorção por parte do mercado.

Já os produtos fabricados para outras marcas têm suas produções justificadas pela terceirização da operação. Ainda que as margens possam ser menores, ao se produzir para terceiros, a empresa deixa de ter que manter toda uma estrutura de custos fixos, sobretudo de equipe de vendas e custos logísticos. Dessa maneira, consegue penetrar mercados mais distantes que outrora estariam inacessíveis, caso não adotasse essa estratégia. Essa discussão, apesar de relevante, não faz parte do escopo do trabalho.

Ao se relaxar o problema nas restrições superiores apenas para aquelas variáveis que já estavam no seu limite máximo de produção, observa-se que o modelo priorizou a produção de BI1 e reduziu todas as outras variáveis relaxadas para seus respectivos limites inferiores. A explicação para isso reside na natureza linear do problema e no fato de BI1 apresentar a maior margem de contribuição. Como as capacidades requeridas por processo não destoam muito entre os produtos estudados, o modelo privilegiará produzir aqueles produtos com as maiores margens. Aliás, a variável BI1 não passa pelo processo 1 e apresenta uma das menores taxas requeridas do processo 2, em decorrência de utilizar o misturador apenas uma vez.

Questionado sobre esta situação o supervisor de produção explicou que existem oportunidades tributárias que acabam elevando a rentabilidade de alguns produtos, como é o caso de BI1. Porém, a gerência de vendas alegou que é inviável produzir este produto em quantidades elevadas, pois acredita que o mercado não absorveria toda essa oferta. Com essas

restrições superiores de demanda relaxadas, a solução otimizada passaria a ser de R$1.294.429. Os valores otimizados das variáveis encontram-se na **Tabela 9**.

Tabela 9 - Solução ótima com relaxamento superior de demanda

Variável	Valor Ótimo	Variável	Valor Ótimo
TR1	17.798	**LI1**	1.089
TR2	2.651	**GO1**	1.215
TR3	570	**CH1**	336
TR4	380	**PI1**	304
TR5	9.892	**BA1**	2.284
TR6	2.000	**BA2**	412
CS1	6.606	**BI1**	47.305
MI1	4.243	**CC1**	281
MI2	200	**CC2**	1.808

Fonte: Elaboração Própria

Partindo para um cenário hipotético, cuja eficiência é de 40% – que ainda é baixa, de acordo com Macêdo Barbalho *et al* (2021) – todos os processos apresentam folga em suas restrições: processo 1 – 65.729 minutos; processo 2 – 3.185 minutos; processo 3 – 3.575 minutos e processo 4 – 6.720 minutos. A função objetivo apresentaria um retorno de R$808.272, ou seja, um incremento de 6% na margem de contribuição. Nota-se que neste caso, o processo 2 passa a ser o com menor sobra de tempo. (MACÊDO BARBALHO *et al.*, 2021).

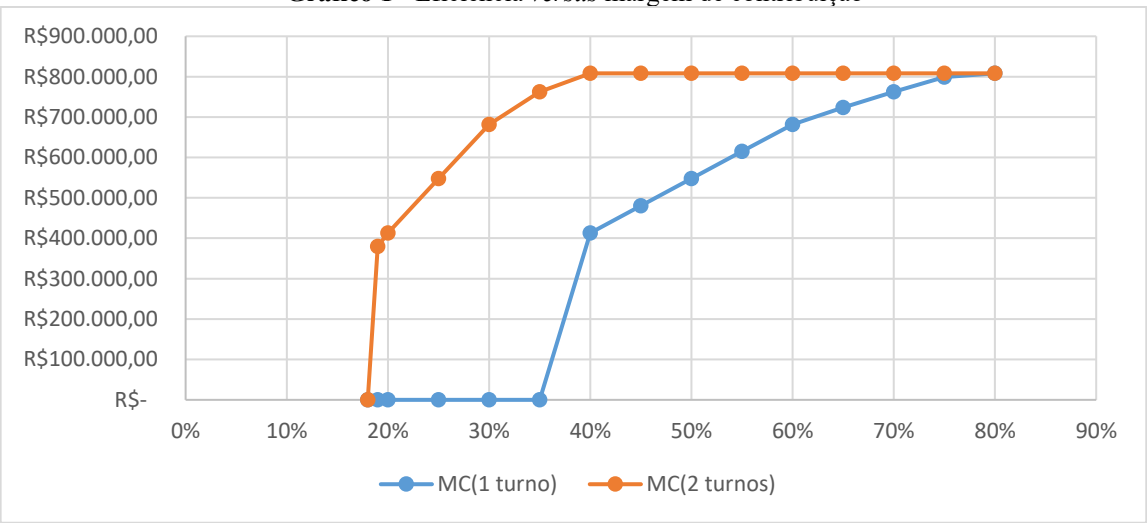
Nesse caso, todas as restrições superiores de demanda não apresentam folga, isto é, o modelo está sendo limitado exclusivamente pela demanda e os valores otimizados das variáveis são equivalentes aos limites superiores de demanda – os quais foram previamente validados pela gerência comercial e disponíveis na **Tabela 2**, seção 3.3. Isso evidencia como a estimativa da demanda pela previsão de vendas pode ser ineficiente, pois uma venda pode deixar de acontecer – por motivos variados, porém a demanda permanece, apenas não atendida. Posto isso, infere-se que há, em certa medida, demanda reprimida e não atendida pela empresa em decorrência da baixa eficiência da linha, que impacta diretamente a previsão de vendas.

Pensando-se no planejamento estratégico de capacidade, o aumento de capacidade via investimentos em equipamentos não faz sentido para a realidade da empresa estudada, uma vez que, aumentando-se a eficiência geral da linha, a empresa pode obter retornos expressivos na margem de contribuição, caso a demanda por produção também aumente.

Caso a demanda não acompanhe os eventuais ganhos de eficiência, faz-se necessária a redução da força de trabalho, através da exclusão de um turno. Isso vai de encontro à visão atual da empresa, que cogita a criação de um terceiro turno, pois acredita existir demanda reprimida que necessita atendimento imediato. Com a redução de um turno, a capacidade seria reduzida e a margem de contribuição total também poderia ser prejudicada. Porém, isso impactaria diretamente nos custos fixos de produção – que não foram detalhados neste estudo – levando-os a patamares menores e permitindo uma maior lucratividade da operação.

O **Gráfico 1** faz uma comparação, para os mesmos limites de demanda, de como a eficiência impacta na margem de contribuição total da linha estudada, ou seja, variando-se a eficiência para um e dois turnos.

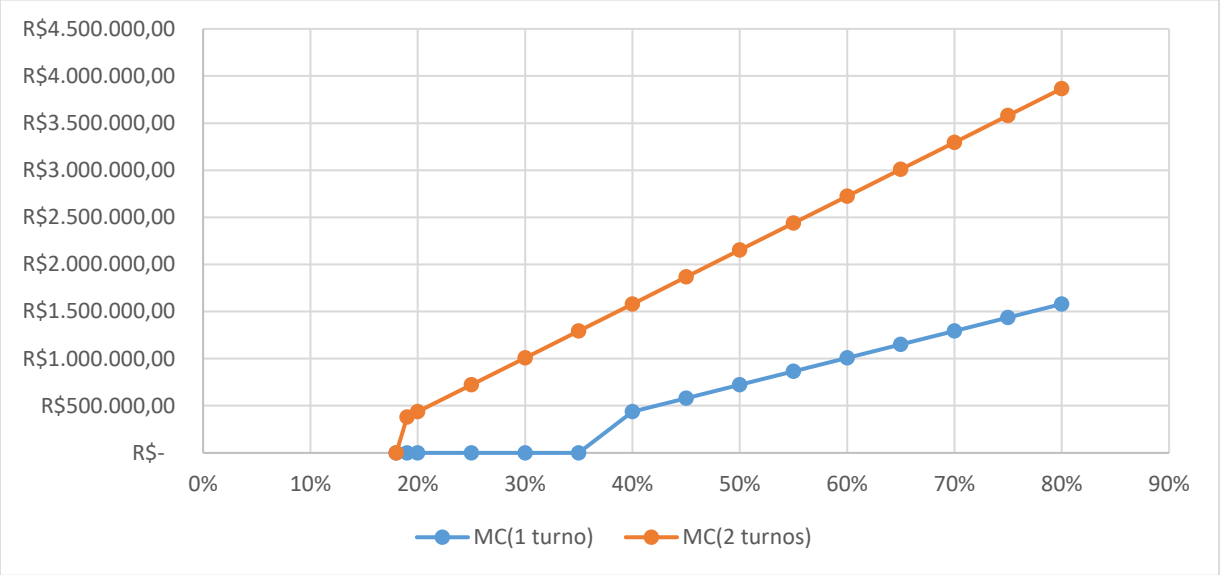
Gráfico 1 - Eficiência *versus* margem de contribuição



Fonte: Elaboração Própria

Observa-se que para atual eficiência de 35% em dois turnos, um resultado equivalente poderia ser obtido caso a operação fosse de um turno com no mínimo 70% de eficiência, o que faz sentido pois o problema é linear. Relaxando-se as restrições de demanda superiores, ou seja, assumindo que sempre haverá demanda para absorver a produção, o comportamento da margem de contribuição toma a seguinte forma, para um ou dois turnos, no **Gráfico 2**.

Gráfico 2 - Eficiência *versus* margem de contribuição ilimitada pela demanda



Fonte: Elaboração Própria

Não se pode afirmar que haverá demanda infinita para todos os produtos da linha estudada, isso é fato. De toda sorte, pode-se observar que o grande limitador da função objetivo são as restrições de processo, uma vez que, não havendo limite de demanda, a empresa demonstra capacidade de elevar seu volume de produção para patamares muito superiores aos atuais, podendo eventualmente quintuplicar a margem de contribuição, na possibilidade de operar numa eficiência de 80%.

Já que não faz sentido investir em mais maquinário ou na expansão das instalações, uma alternativa para o aumento de capacidade reside na elaboração de um plano sistemático de manutenção e treinamentos, fato corroborado pela visão dos entrevistados. Atuando-se nessas duas frentes, a empresa pode reduzir o tempo de máquina parada para manutenção corretiva, que geralmente é mais demorada e mais custosa – todo tempo desperdiçado em manutenção corretiva poderia ser convertido em produção seguida de venda.

Mas não apenas o planejamento de manutenção se faz necessário. Conforme entrevistas, existe uma percepção de que os colaboradores não dominam a operação dos equipamentos, sobretudo da máquina de empacotar, que frequentemente apresenta falhas que não podem ser resolvidas pelo próprio operador. Uma consequência é o tempo aguardando a equipe de manutenção para realizar pequenos ajustes de máquina. Nesse ínterim, os colaboradores perdem o foco e o ritmo de produção fica prejudicado.

Uma outra consequência direta disso é a perda excessiva de embalagens do setor, que atinge patamares de 15%. Isso eleva os custos de produção e prejudica as margens de

contribuição, pois, no seu cálculo, essa perda tem que ser levada em consideração. Dessa forma, o pesquisador entende que um treinamento sistematizado dos operadores, com cronograma para ser executado – não somente no momento da contratação como também ao longo do ano – é crucial para que a eficiência operacional seja elevada. Além disso, um colaborador – com perfil adequado para tal – deve ser capacitado para realizar esses treinamentos sempre que necessário.

Do ponto de vista organizacional, observou-se a ausência de apresentação regular de resultados de produção, para que os funcionários tenham noção de seu próprio desempenho e que se sintam desconfortáveis de entregar baixa eficiência. Entende-se que, atualmente, existe uma zona de conforto, uma vez que a eficiência fica aquém de níveis saudáveis, porém não há cobrança baseada em dados para mitigar o problema. O pesquisador sugere uma reunião semanal entre encarregado e supervisão, na qual seja apresentada a produção total da semana, o índice de eficiência e sua justificativa. Há, inclusive, de existir um mínimo aceitável de eficiência para que os colaboradores possam ser cobrados ou premiados, a depender da situação.

Em se tratando das questões comerciais, entende-se que ações de marketing devam ser realizadas para favorecer a venda dos produtos mais rentáveis para a organização. Ademais, reavaliar se os menos rentáveis justificam sua presença no portfólio da empresa também é uma ação que deve ser levada em consideração, pois o mercado é dinâmico e nem sempre o que valeu a pena ser produzido ontem continuará sendo hoje e no futuro. Essa é uma tarefa que requer escrutínio do departamento comercial. Ainda nesse sentido, produtos com vantagens tributárias devem, a princípio, ser priorizados nessas ações de marketing, desde que isso implique em margens de contribuição mais elevadas e que sejam produtos que não consumam muita capacidade dos processos produtivos. Como é uma empresa que ainda tem um enfoque muito grande em competição por custos – embora exista um planejamento para alterar essa realidade e focar em diferenciação –, qualquer alteração tributária apresenta um considerável impacto sobre as margens de contribuição dos produtos.

A introdução de novos produtos mais rentáveis e em setores que ainda não são explorados pela concorrência também configura como uma estratégia em curso pela empresa. Atuar no setor de produtos *premium*, onde se compete por diferenciação e não única e exclusivamente por custos é outra saída que permite com que a capacidade disponível no chão de fábrica possa ser convertida em margens de contribuição cada vez maiores. Essa é uma das linhas da fábrica com maior potencial para introdução de produtos dessa natureza.

Por fim, a lista a seguir expõe de maneira resumida as ações propostas neste trabalho para que a empresa estudada consiga elevar a eficiência operacional da linha de farofas e aumentar suas vantagens competitivas:

- Elaborar um cronograma de treinamentos e capacitar um profissional para que possa treinar novos operadores e ensinar aqueles que já estão na empresa a operar a máquina de empacotar.
- Capacitar encarregados para que sejam capazes de coordenar sua equipe e apresentar resultados das operações;
- Desenvolver um cronograma de manutenção junto a um sistema de ordens de serviço, permitindo que o gestor responsável avalie quais as falhas mais comuns e controle-as, seja através de medidas preventivas (trocando peças), seja através de treinamentos focalizados;
- Estabelecer uma métrica de eficiência que deva ser reportada numa frequência diária ou semanal e discutida entre níveis operacional e tático. Apresentar a evolução das métricas trimestralmente para gestão estratégica (diretoria);
- Investir esforços na venda de produtos tributariamente mais vantajosos e no desenvolvimento de novos produtos que contribuam com margens maiores;

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi elaborar um planejamento estratégico de capacidade para uma indústria alimentícia da Zona da Mata mineira. Para tanto, foi utilizada a programação matemática, de modo a identificar qual a combinação de produção que otimizasse a margem de contribuição da empresa, respeitando limites de processo e de demanda.

Embora houvesse inicialmente intenção de realizar uma análise de investimento em equipamentos e expansão das instalações, isso se mostrou impraticável em decorrência do baixo índice de eficiência (35%), que indica excesso de capacidade, o qual foi informado pela supervisão de produção e demonstrado, posteriormente, na modelagem do problema.

O **Quadro 3** retoma os objetivos secundários, determinados na seção 1.4.

Quadro 3 - Objetivos secundários do trabalho

Objetivo secundário	**Descrição**
(i)	Definir um modelo com parâmetros de capacidade de processos, de capacidade requerida por produto e de restrições de demanda
(ii)	Apontar o *mix* de produção que maximiza a margem de contribuição da organização, dadas as restrições impostas pelo modelo
(iii)	Sinalizar recursos escassos do sistema – possíveis gargalos produtivos e limitações mercadológicas
(iv)	Identificar e propor possibilidades de otimização da capacidade instalada

Fonte: Elaboração Própria

O objetivo (i) foi contemplado, uma vez que o pesquisador conseguiu definir um modelo condizente com a realidade, tendo seus parâmetros de capacidade requerida e disponível, assim como parâmetros de demanda, ainda que, para estes, algumas aproximações tenham sido utilizadas.

No que tange o objetivo (ii), o modelo gerado foi capaz de gerar uma combinação de produtos ótima que maximizasse a margem de contribuição da organização, dadas as restrições de processo (capacidades requerida e disponível) e demanda (limites superior e inferior).

O objetivo (iii) foi atingido, uma vez que o resultado do modelo criado permitiu com que o pesquisador identificasse qual o recurso escasso do sistema e que merece maior atenção, que é o caso da máquina de empacotar, para o cenário de 35% de eficiência.

Para o objetivo (iv), embora houvesse inicialmente o desejo de se analisar o investimento em expansão das instalações, isso se mostrou inviável a partir do momento em que a eficiência operacional se mostrou abaixo do esperado. Para tanto, foram propostas ações no sentido de aumentar a eficiência da fábrica, contemplando o último objetivo.

O pesquisador concluiu que, para os níveis atuais de demanda, um incremento de 5% dessa eficiência, o modelo gera um resultado global 6,03% superior. Para incrementos de eficiência maiores – mantendo-se os dois turnos de produção, é necessário que se relaxe as restrições de demanda, uma vez que essas foram determinadas com base no histórico de vendas, o qual é influenciado pelo baixo desempenho histórico da linha de produção estudada.

Por fim, a modelagem do problema contou com algumas simplificações, expostas na seção 1.3. De qualquer forma, foi crucial para a compreensão de que existe sobra de capacidade no chão de fábrica e quais são os recursos que mais requerem de esforços para otimização.

Cabe à organização, pois, tomar medidas que atuem no sentido de potencializar a eficiência da operação, otimizando a capacidade já instalada na fábrica. Sugestões foram propostas na seção 4.

O pesquisador propõe, ainda, como pesquisas futuras: (i) um estudo mais detalhado sobre a eficiência de processos; (ii) um estudo sobre o real comportamento da demanda desta indústria, que não seja refém das vendas realizadas; (iii) um estudo sobre margens de contribuição e precificação dos produtos; (iv) um estudo aprofundado de tempos e movimentos.

Por fim, cabe salientar que o Trabalho de Conclusão de Curso é fundamental para a formação de um aluno como Engenheiro de Produção, dado que este momento é uma grande oportunidade para aplicação de conceitos teóricos na prática, solucionando problemas da vida real com as ferramentas obtidas ao longo da graduação.

REFERÊNCIAS

ARENALES, M. *et al.* **Pesquisa operacional**. 2ª. ed. [S.l.]: Elsevier, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Áreas da Engenharia de Produção. **Portal da ABEPRO**, 2018. Disponivel em: http://portal.abepro.org.br/a-profissao/. Acesso em: 10 nov. 2021.

CARTER, M. W.; PRICE, C. C.; RABADI, G. **Operations Research A Practical Introduction**. 2ª. ed. Boca Raton: CRC Press, 2019.

CHAPMAN, S. N. **The fundamentals of planning and control**. 1ª. ed. New Jersey: Pearson, 2006.

DE MEDEIROS, L. F. Uso de algoritmos genéticos para definição de mix de produção em simulador de plano de negócios. **Gestão & Produção**, São Carlos, 2015. 624-635.

DOS SANTOS, M. *et al.* Proposta de otimização do mix de produção utilizando o método simplex: um estudo de caso de uma confecção de moda íntima do município de Cordeiro-RJ. **Anais do IV Simpósio de Engenharia de Produção**, Recife, Abril 2016.

GODINHO, I. P.; CORSO, L. L. Aplicação da Programação Linear para otimizar o mix de produtos em uma empresa de confecção. **Scientia cum industria**, Caxias do Sul, v. 7, n. 2, p. 83-87, 2019. ISSN 2318-5279.

JACOBS, R. F.; CHASE, R. B. **Operations and supply chain management**. 15ª. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.

KOREN, Y.; CERYAN, O. Manufacturing capacity planning strategies. **CIRP annals**, v. 58, n. 1, p. 403-406, 2009.

LUSTOSA, L. *et al.* **Planejamento e controle da produção**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 309-311 p.

MACÊDO BARBALHO, S. C. *et al.* Aplicação do Overall Equipment Effectiveness (OEE) em uma indústria do ramo alimentício localizada no Interior do Estado de São Paulo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, Dezembro 2021. 121344-121361.

MARTÍNEZ-COSTA, C. *et al.* A review of mathematical programming models for strategic capacity planning in manufacturing. **International Journal of Production Economics**, Julho 2014. 66-85.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Ministério da Saúde declara transmissão comunitária nacional. **Site do Ministério da Saúde**, 2020. Disponivel em: https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2020/marco/ministerio-da-saude-declara-transmissao-comunitaria-nacional. Acesso em: 15 jan. 2022.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Organização Mundial da Saúde declara novo coronavírus uma pandemia, 2020. Disponivel em: https://news.un.org/pt/story/2020/03/1706881. Acesso em: 15 jan. 2022.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A. **Operations and Process Management**. 5ª. ed. Harlow: Pearson, 2018.

SOBREIRO, V. A.; NAGANO, M. S. Proposta de uma heurística construtiva baseada na TOC para definição de mix de produção. **Production**, v. 23, n. 3, 2013. 468-477.

TEERASOPONPONG, S.; SOPADANG, A. A simulation-optimization approach for adaptive manufacturing capacity planning in small and medium-sized enterprises. **Expert Systems with Applications**, v. 168, p. 114451, 2021.

ZHUANG, Z.-Y.; CHANG, S.-C. Deciding product mix based on time-driven activity-based costing by mixed integer programming. **Journal of intelligent manufacturing**, v. 28, n. 4, p. 959-974, 2017.

ANEXO A – ENTREVISTA: SUPERVISOR DE PRODUÇÃO

Pergunta	Resposta
Como é decidido o mix de produtos para um determinado ano?	*A decisão do mix não é realizada para o ano. É decidida diariamente de acordo com demanda de pedidos e nível de estoque disponível para entrega.*
Existe uma percepção daqueles produtos que são mais rentáveis?	*Sim. Há uma percepção daqueles que são mais rentáveis através da análise das margens de contribuição, que são tabuladas em planilha eletrônica. Há um grande enfoque nas oportunidades tributárias, uma vez que, dependendo do enquadramento que o produto caia, este pode se tornar altamente rentável.*
É comum a mensuração da capacidade disponível por recurso? Essa medida é utilizada para o planejamento de capacidade?	*Não é feita medição constante. Sabe-se empiricamente pela programação dos parâmetros de máquina. Essa medida não é utilizada para o planejamento de capacidade.*
Quais recursos você imagina serem escassos e quais enxerga como abundantes?	*O misturador é um recurso escasso, pois limita consideravelmente a quantidade de batidas que podem ser realizadas num período. O setor de separação e pesagem é aquele que mais apresenta ociosidade, pois é capaz de separar em um turno as quantidades necessárias para a produção do próprio turno e do subsequente (diurno e noturno).*
Existe cronograma de manutenção?	*Não há cronograma de manutenção. A princípio todas as manutenções são executadas em caráter corretivo e são reportadas diariamente à supervisão de produção.*

Pergunta	Resposta
Como é programada a produção diária?	*A produção é determinada de acordo com a demanda comercial (pedidos) e disponibilidade de estoque. É feito uma comparação em planilha eletrônica dos produtos que apresentam menor saldo entre pedido em carteira e estoque. Aquele que for mais crítico entra em produção até que retorne a um patamar de estoque estimado – empiricamente – como saudável. Um novo produto crítico entra em produção e o ciclo se repete.*
Qual a estratégia de atendimento de demanda (contra pedidos, contra estoque...)? Ela é integralmente atendida com frequência?	*A princípio é uma estratégia make-to-stock. Porém, se a prioridade do comercial for de entrega imediata de um determinado, adota-se a estratégia make-to-order, sobretudo quando se atende marca de terceiros, ou quando algum pedido grande de marca própria é fechado e falta estoque. Em algumas situações falta produto acabado. Neste caso, aguarda-se produção para envio de pedido. Os pedidos de terceiros são atendidos por inteiro, já aqueles da marca própria pode acontecer de serem enviados faltando itens (corte de produtos).*
Quais os pontos de melhoria já identificados no setor de produção?	*Programação de manutenção, aumento do tamanho do misturador, motivação da equipe para melhor utilização do tempo disponível para produzir, incremento de um terceiro turno.*
Falta matéria-prima para produzir?	*Em alguns momentos falta em decorrência de falhas na programação de compras ou aumento repentino de demanda. O controle de estoque costuma ser falho também e podem ocasionar falta de matéria-prima. O sistema de compras é pouco explorado e não há sistematização dos pedidos de matéria-prima.*

Pergunta	Resposta
A quantidade de produtos produzidos na linha atrapalha o desempenho do chão de fábrica? Há margem para incremento ou redução do mix?	*A sensação atual é de que a linha se encontra no seu limite. Cogita-se um terceiro turno para suprir uma demanda não atendida.*

ANEXO B – ENTREVISTA: LÍDER DE PRODUÇÃO

Pergunta	Resposta
Quantos colaboradores trabalham em cada posto de trabalho?	*São 4 colaboradores. 1 colaborador para separação e pesagem, 1 para operar o misturador e 2 na ponta da máquina, sendo um operador com seu auxiliar.*
Considera que hoje o número de colaboradores é adequado para a carga de trabalho?	*Considera que sim.*
Há capacidade sobrando, isto é, poderia produzir mais? Se sim, o que limita?	*Acha que sim, que sobra capacidade. Considera que os próprios colaboradores limitam a capacidade. Alguns dias, ocasionalmente, o maquinário atrapalha, mas na maioria dos dias observa falta de motivação e empenho.*
Como considera a disponibilidade das máquinas? Estão sempre prontas para uso ou requerem constante manutenção?	*Acha que os problemas são aleatórios. Algumas semanas a máquina roda bem e em outras nem tanto. Considera que se existisse manutenção preventiva, não aconteceriam tantos problemas. Alguns produtos causam mais problemas na máquina como coco flocado e biju.*
Existe preferência pela produção de algum produto? Por quais motivos?	*As farofas de 500g rendem mais tanto em questão do ponto de vista de utilização do misturador quanto do empacotamento. Acaba sendo produzido mais kg de produto. Já as de 250g são um pouco mais difíceis de acomodar no fardo.*
Como é recebida a programação da produção?	*Às vezes é enviada no dia anterior, às vezes supervisor informa pessoalmente o momento de se realizar a troca de um produto para outro.*

Pergunta	Resposta
Acredita que o tempo de setup hoje é ideal ou há margem para melhorias?	*Poderia ser melhor. A informação chega na hora e isso prejudica a mudança de produto. As demandas aparecem de forma muito urgente em algumas ocasiões, prejudicando a qualidade da limpeza da máquina, por exemplo. A falta de motivação do colaborador também contribui para uma duração maior do setup.*
Na sua visão, qual o nível de organização do setor e por que?	*Já foi melhor. Havia mais tempo para faxina (cronograma), realizada no mínimo de 15 em 15 dias. Há desejo de retornar com o 5S. Acredita que a organização do estoque de matérias-primas está ok, sendo facilmente identificadas no setor.*
Como você avalia o nível de perdas do setor?	*No quesito embalagem é bem alto, em torno de 15%. Falta treinamento refinado para operadores, o nível atual de conhecimento deles é bem amador. Precisa-se de alguém capacitado para dar treinamento. Trazer o fornecedor para treinar equipe seria o melhor dos cenários. Falta também interesse do operador em buscar aprofundar o conhecimento sobre a operação da máquina. Operador tem que ter o perfil de gostar de máquina e não ter medo de mexer, desde que não cause danos a máquina. Quanto às perdas de matéria-prima, encontram-se em nível aceitável, não superando 2%. Não considera que há desperdício.*
Hoje, dos 4 processos do setor, qual que você considera gargalo e qual considera abundante?	*Gargalo é o misturador, pois não tem capacidade suficiente pra dar vazão ao empacotamento, talvez se o misturador fosse maior e comportasse mais farofa para ser batida, não faltaria produto para ser empacotado. Setor de separação e pesagem sobra muita capacidade.*

ANEXO C – ENTREVISTA: GERENTE DE VENDAS

Pergunta	Resposta
Qual a perspectiva de vendas dos produtos da linha estudada para 2022?	*Foco para a linha estudada. Agora com início de segundo turno há grande expectativa. Receio quanto a expansão da venda para terceiros. Crescimento esperado de margens de contribuição. Crescer volume de vendas em 10%.*
É importante ter produtos diferentes para entrar em novos mercados?	*O mix diferencia dos concorrentes. Introdução de produtos do ramo artesanal, vai nos diferenciar. Falta a linha caseira na marca própria. Hoje biju não tem demanda para absorver maior produção. Ações de marketing em andamento. BI1 demanda em restaurantes e mercados especializados. BI1 não tem concorrente no mercado.*
Na sua perspectiva, quais os produtos com mais facilidade de saída?	*TR1 é o produto mais fácil de se vender, por ser o carro chefe dessa linha de produtos.*
Acredita existir um produto que poderia entrar melhor no mercado caso houvesse mais produção dele?	*Nunca aconteceu de produto de ficar agarrado nos pontos de vendas. A produção limita o comercial de vender mais e atender integralmente a demanda*
Dos produtos estudados, existe algum mais difícil do mercado absorver? Faz sentido a redução de portfólio?	*LI1 é muito difícil de vender, poderia ser removida. MI1, que é mais cara, também apresenta alguma dificuldade, porém menos.*
Atualmente o departamento comercial teria capacidade de ampliar as vendas? A produção limita de certa forma?	*100%. Evita-se fechar encarte, pois não há capacidade pra atender demanda. Não faz ideia de qual é a eficiência da linha de produção.*
Tem-se ideia de quais são os produtos mais rentáveis para a organização?	*Tem. Imagina que seja BI1, TR2, CS1 e TR1.*

Pergunta	Resposta
Qual a estratégia comercial que justifica a produção para terceiros?	*Atuam em áreas onde empresa não consegue colocar vendedor nem expandir a logística. RJ é um estado complicado de se vender. Terceirização de riscos. Sem custo de vendedor, custo de logística mínimo, sem custos de contrato de venda. (-2% comissão e -5% de frete). Expandir para outros lugares.*

ANEXO D – MODELO LINGO

```
MODEL:

 !FUNÇÃO OBJETIVO;
  [FOB] MAX= 9.42 * TR1 + 5.08 * TR2 + 4.08 * TR3 + 1.96 * TR4 + 5.17 * TR5 + 5.17 *
  TR6 + 5.08 * CS1 + 4.17 * MI1 + 1.67 * MI2 + 4.75 * LI1 + 6.25 * GO1 + 1.42 * CH1
  + 1.92 * PI1 + 5.25 * BA1 + 2.21 * BA2 + 20 * BI1 + 11.3 * CC1 + 11.7 * CC2;

 !RESTRIÇÕES DE DEMANDA;
 [LIM_INF_TR1] TR1 >= 17798;  [LIM_SUP_TR1] TR1 <= 49303;
 [LIM_INF_TR2] TR2 >= 2651;   [LIM_SUP_TR2] TR2 <= 11709;
 [LIM_INF_TR3] TR3 >= 570;    [LIM_SUP_TR3] TR3 <= 630;
 [LIM_INF_TR4] TR4 >= 380;    [LIM_SUP_TR4] TR4 <= 420;
 [LIM_INF_TR5] TR5 >= 9892;   [LIM_SUP_TR5] TR5 <= 14230;
 [LIM_INF_TR6] TR6 >= 2000;   [LIM_SUP_TR6] TR6 <= 4000;
 [LIM_INF_CS1] CS1 >= 6606;   [LIM_SUP_CS1] CS1 <= 10394;
 [LIM_INF_MI1] MI1 >= 4243;   [LIM_SUP_MI1] MI1 <= 5528;
 [LIM_INF_MI2] MI2 >= 200;    [LIM_SUP_MI2] MI2 <= 400;
 [LIM_INF_LI1] LI1 >= 1089;   [LIM_SUP_LI1] LI1 <= 1441;
 [LIM_INF_GO1] GO1 >= 1215;   [LIM_SUP_GO1] GO1 <= 1343;
 [LIM_INF_CH1] CH1 >= 336;    [LIM_SUP_CH1] CH1 <= 372;
 [LIM_INF_PI1] PI1 >= 304;    [LIM_SUP_PI1] PI1 <= 336;
 [LIM_INF_BA1] BA1 >= 2284;   [LIM_SUP_BA1] BA1 <= 2525;
 [LIM_INF_BA2] BA2 >= 412;    [LIM_SUP_BA2] BA2 <= 456;
 [LIM_INF_BI1] BI1 >= 800;    [LIM_SUP_BI1] BI1 <= 2153;
 [LIM_INF_CC1] CC1 >= 281;    [LIM_SUP_CC1] CC1 <= 761;
 [LIM_INF_CC2] CC2 >= 1808;   [LIM_SUP_CC2] CC2 <= 2381;

 !EQUAÇÕES DE CAPACIDADE;
 [CAP_SEPARAR] SEPARAR + SEP_ENF + SEP_MIS = 71442;
 [CAP_MISTURAR] - SEP_MIS + MISTURAR = 71442;
 [CAP_ENFARDAR] - SEP_ENF + ENFARDAR = 71442;

 !RESTRIÇÕES DE PROCESSO;
 [LIM_SEPARAR] - 0.1815586409987162 * TR1 - 0.09077932049935808 * TR2 -
  0.09077932049935808 * TR3 - 0.04538966024967904 * TR4 - 0.1815586409987162 * TR5 -
  0.1815586409987162 * TR6 - 0.09514160235131457 * CS1 - 0.104777245227182 * MI1 -
  0.05238862261359102 * MI2 - 0.1078014184407933 * LI1 - 0.3459987177246854 * GO1 -
  0.05493000216317645 * CH1 - 0.0577259629993282 * PI1 - 0.09790193563064327 * BA1 -
  0.04895096781532164 * BA2 + SEPARAR >= 0;
 [LIM_MISTURAR] - 0.8937574532231162 * TR1 - 0.4468787266115581 * TR2 -
  0.4468787266115581 * TR3 - 0.223439363305779 * TR4 - 0.8937574532231162 * TR5 -
  0.8937574532231162 * TR6 - 0.4814802854661823 * CS1 - 0.5525654121173833 * MI1 -
  0.2762827060586917 * MI2 - 0.5418439716323877 * LI1 - 0.9698665267812168 * GO1 -
  0.2500679179382355 * CH1 - 0.2517401500797893 * PI1 - 0.4679823266170712 * BA1 -
  0.2339911633085356 * BA2 - 0.1666666666666667 * BI1 - 0.1333333333333333 * CC1 -
  0.1333333333333333 * CC2 + MISTURAR >= 0;
 [LIM_EMPACOTAR] - 0.7142857142857142 * TR1 - 0.6666666666666666 * TR2 -
  0.3571428571428571 * TR3 - 0.3333333333333333 * TR4 - 0.7142857142857142 * TR5 -
  0.7142857142857142 * TR6 - 0.6666666666666666 * CS1 - 0.6666666666666666 * MI1 -
  0.3333333333333333 * MI2 - 0.6666666666666666 * LI1 - 0.7142857142857142 * GO1 -
  0.3333333333333333 * CH1 - 0.3333333333333333 * PI1 - 0.6666666666666666 * BA1 -
  0.3333333333333333 * BA2 - 0.7142857142857142 * BI1 - 1.714285714285714 * CC1 -
  1.714285714285714 * CC2 >= - 71442;
 [LIM_ENFARDAR] - 0.7 * TR1 - 0.7 * TR2 - 0.55 * TR3 - 0.5333333333333333 * TR4 -
  0.7 * TR5 - 0.7 * TR6 - 0.7 * CS1 - 0.7 * MI1 - 0.5333333333333333 * MI2 -
  0.6666666666666666 * LI1 - 0.7 * GO1 - 0.5333333333333333 * CH1 -
  0.5333333333333333 * PI1 - 0.7 * BA1 - 0.5333333333333333 * BA2 - 0.7 * BI1 -
  0.5515 * CC1 - 0.5515 * CC2 + ENFARDAR >= 0;

END
```

ANEXO E – TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 19 de Fevereiro de 2022.

Marcelo Horta e Silva de Mendonça	201549021
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)	Matrícula
Marcelo H. e S. de Mendonça	129.333.876-11
ASSINATURA	CPF

[1] LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.