

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO**

**MODELO PARA AUXILIAR A TOMADA DE  
DECISÃO DOS PROCESSOS DE COMPRA E  
BENEFICIAMENTO EM UM ENGENHO DE  
ARROZ**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Emmanuel Omar Nascimento de Freitas**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2021**

**Emmanuel Omar Nascimento de Freitas**

**MODELO PARA AUXILIAR A TOMADA DE DECISÃO DOS  
PROCESSOS DE COMPRA E BENEFICIAMENTO EM UM  
ENGENHO DE ARROZ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr. Felipe Martins Muller

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2021**

de Freitas, Emmanuel Omar Nascimento

MODELO PARA AUXILIAR A TOMADA DE DECISÃO DOS  
PROCESSOS DE COMPRA E BENEFICIAMENTO EM UM ENGE-  
NHO DE ARROZ / por Emmanuel Omar Nascimento de Freitas. –  
2021.

61 f.: il.; 30 cm.

Orientador: Felipe Martins Muller

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria,  
Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Produção, RS, 2021.

1. Arroz. 2. Caracterização. 3. Modelo matemático. I. Muller,  
Felipe Martins. II. Título.

---

© 2021

Todos os direitos autorais reservados a Emmanuel Omar Nascimento de Freitas. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: emmanuel@marzari.com

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**MODELO PARA AUXILIAR A TOMADA DE DECISÃO DOS  
PROCESSOS DE COMPRA E BENEFICIAMENTO EM UM ENGENHO  
DE ARROZ**

elaborada por  
**Emmanuel Omar Nascimento de Freitas**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia de Produção**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Felipe Martins Muller, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Olinto César Bassi de Araújo, Dr. (UFSM)**

**Lissandro Dorneles Dalla Nora, Dr. (UFN)**

Santa Maria, 25 de Outubro de 2021.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a oportunidade e confiança que meu orientador Felipe Muller depositou em mim e na disponibilidade e compreensão que teve ao longo de todo período.

Agradeço a minha esposa Adriana Fernandes e meus filhos Matheus Filipe e Fernanda Leticia pela compreensão com minhas ausências nos momentos que precisei me dedicar com exclusividade as disciplinas do curso. Sem o apoio da minha família esta missão não seria completada.

Não poderia deixar de agradecer ao professor Olinto, que foi meu mentor intelectual e me auxiliou na estruturação lógica do trabalho. Sua dedicação e interesse em ajudar me surpreenderam, principalmente por nunca ter hesitado em me atender aos sábados, domingos e feriados, a qualquer hora. Obrigado por dividir um pouco o seu vasto conhecimento comigo e me contagiar com suas fórmulas matemáticas.

Agradeço a família Marzari , Gilberto, Mariangela, Alexandre, Adolfo e Aida por me acolherem na empresa como um membro da família e por investir e acreditar que a formação acadêmica pode contribuir para nossa empresa.

Agradeço ao amigo Tobias pelo apoio e sempre boa vontade em me auxiliar tirando duvidas e me apoiando no caminho do curso.

Agradeço a todos que de forma direta ou indireta participaram desta jornada, pra vocês o meu Muito obrigado.

*“Pensamentos levam a objetivos, objetivos viram ações, ações formam hábitos,  
hábitos moldam o caráter e caráter determina nosso destino.”*

— TRYON EDWARDS

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção  
Universidade Federal de Santa Maria

### **MODELO PARA AUXILIAR A TOMADA DE DECISÃO DOS PROCESSOS DE COMPRA E BENEFICIAMENTO EM UM ENGENHO DE ARROZ**

AUTOR: EMMANUEL OMAR NASCIMENTO DE FREITAS

ORIENTADOR: FELIPE MARTINS MULLER

Local da Defesa e Data: Santa Maria, 25 de Outubro de 2021.

Este trabalho propõe uma caracterização do sistema produtivo de uma empresa do ramo de beneficiamento de arroz, além da formulação de modelos matemáticos para apoiar decisões sobre compra de insumos e elaboração de planos de produção. O objetivo da caracterização foi proporcionar melhor entendimento do processo e possibilitar o desenvolvimento de ações de melhoria. Já o modelo matemático proposto foi pensado para possibilitar simulações de planos de produção mensais e apoiar a tomada de decisão em relação a aquisição de insumos de potenciais fornecedores e otimizar o mix de produção. A pesquisa se deu na forma de um estudo de caso, no qual a empresa Marzari Alimentos foi analisada. A caracterização se deu através de coleta de dados *in loco* e de informações obtidas diretamente com a gerência. Ao final, o processo de beneficiamento e embalagem foi devidamente mapeado. Já o modelo matemático desenvolvido não abordou diretamente a parte técnica do beneficiamento, e sim buscou representar as questões pertinentes ao processo de aquisição de insumos e determinação de mix de produção de maneira integrada, diferentemente de grande parte da literatura especializada. O Modelo inicial foi desenvolvido apenas considerando a formulação de ingredientes utilizada na própria empresa, considerando estoque estático. O Modelo 2 discretizou os insumos de acordo com diferentes origens (fornecedores). O Modelo 3 restringiu a aquisição parcial de insumos e o Modelo 4 flexibilizou a formulação dos produtos de acordo com a legislação vigente. Foi obtida uma caracterização fidedigna do sistema produtivo da Marzari Alimentos e, por meio da resolução do modelo matemático desenvolvido, foram simulados programas de produção para comparação com programas efetuados em períodos anteriores. Os resultados obtidos na simulação apresentaram possibilidade de faturamento 15,1% superior ao faturamento real obtido, uma vez que, com a flexibilização das formulações dos produtos, a resolução do modelo apresentou a possibilidade de alocação mais racional dos ingredientes nobres entre os produtos.

**Palavras-chave:** Arroz. Caracterização. Modelo matemático.

# **ABSTRACT**

Master's Dissertation  
Post-Graduate Program in Informatics  
Federal University of Santa Maria

## **CHALLENGES AND ALTERNATIVES RELATED TO PRODUCTIVITY IN THE RICE CROP AND MILL**

**AUTHOR: EMMANUEL OMAR NASCIMENTO DE FREITAS**

**ADVISOR: FELIPE MARTINS MULLER**

Defense Place and Date: Santa Maria, July 25<sup>st</sup>, 2021.

This work proposes a characterisation of the production system of a company in the rice processing industry, in addition to the inclusion of mathematical models to support decisions on the purchase of inputs and preparation of production plans. The purpose of the characterisation is to provide a better understanding of the process and enable the development of improvement actions. The proposed mathematical model, on the other hand, was designed to enable simulations of monthly production plans and support decision-making regarding the acquisition of inputs from suppliers and to optimize the production mix. The research took the form of a case study, in which the company Marzari Alimentos was analysed. The characterisation took place through on-site data collection and information was provided directly by the firm managers. At the end, the processing and packaging process was properly mapped. The mathematical model developed, nevertheless, did not directly address the technical part of processing, however it sought to represent the relevant issues to the process of data acquisition and determination of the production mix in an integrated manner, unlike most of the specialised literature. The initial model was developed only considering the addition of ingredients used in the company itself, considering a static stock of ingredients. Model 2 discretized inputs according to different sources (suppliers). Model 3 restricted the partial acquisition of inputs and Model 4 made the supply of products more flexible in accordance with current legislation. A reliable characterisation of the production system of Marzari Alimentos was obtained and, through the resolution of the developed mathematical model, production programs were simulated for comparison with programs carried out in previous periods. The results obtained in the simulation presented a likelihood of gains slightly superior to the actual obtained revenue since, with a more flexible formulations of the products, a resolution of the model presented the possibility of more rational allocation of the noble ingredients among the products.

**Keywords:** Rice. Characterization. Model.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Área cultivada x produtividade do arroz em casca no Brasil - 1976 a 2019. ..	21
Figura 2.2 – Percentual de cultivo das principais variedades de arroz. ....	21
Figura 2.3 – Distribuição do cultivo de variedades de arroz no RS. ....	22
Figura 2.4 – Composição do grão de arroz. ....	23
Figura 2.5 – Defeitos característicos no grão de arroz. ....	24
Figura 4.1 – Fluxograma de produção da Marzari Alimentos. ....	31
Figura 4.2 – Processo de beneficiamento. ....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Produção mundial de arroz em 2019 - base beneficiado.....	12
Tabela 2.1 – Volume de produção de arroz no Brasil entre as safras 2011/2012 e 2018/2019.	20
Tabela 2.2 – Arroz em casca - limites máximos de tolerância em % da massa .....	25
Tabela 2.3 – Arroz beneficiado polido - limites máximos de tolerância em % da massa ...	25
Tabela 4.1 – Formação de preço do arroz em casca (simulação para carga contendo 100 sacas.) .....	38
Tabela 4.2 – Custo de aquisição por kg de grão inteiro. ....	39
Tabela 4.3 – Custo de aquisição por kg de grão inteiro. ....	40
Tabela 4.4 – Custo por fardo.....	41
Tabela 4.5 – Custo com despesas de beneficiamento. ....	41
Tabela 4.6 – Custo com despesas de beneficiamento. ....	42
Tabela 6.1 – Preço de venda e percentual mínimo de ingredientes dos produtos produzidos na Marzari Alimentos.) .....	53
Tabela 6.2 – Características dos insumos ofertados pelos fornecedores - março de 2021...	54
Tabela 6.3 – Características dos insumos ofertados pelos fornecedores - abril de 2021. ...	54
Tabela 6.4 – Preço de venda e percentual máximo de ingredientes dos produtos produzidos na Marzari Alimentos.) .....	54
Tabela 6.5 – Comparação entre os planos de produção sugerido na simulação e realizado em março de 2021. ....	55
Tabela 6.6 – Comparação entre saldos de estoque para março de 2021. ....	55
Tabela 6.7 – Comparação entre os planos de produção sugerido na simulação - abril de 2021. ....	56
Tabela 6.8 – Comparação entre a formulação sugerida para os produtos e a formulação efetivamente utilizada.....	56
Tabela 6.9 – Comparação entre o faturamento obtido pela simulação e faturamento real - março de 2021. ....	57
Tabela 6.10 – Comparação entre o faturamento obtido pela simulação e faturamento real - abril de 2021.....	57

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1 Objetivos da pesquisa</b> .....	15
1.1.1 Objetivo geral .....	15
1.1.2 Objetivos Específicos .....	16
<b>1.2 Justificativa e Importância</b> .....	16
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	19
<b>2.1 Caracterização de sistemas produtivos de beneficiamento de grãos</b> .....	19
2.1.1 Produção de arroz em casca .....	19
2.1.2 Aspectos morfológicos sobre o grão .....	23
2.1.3 Precificação e custeio do arroz em casca .....	25
<b>2.2 Problemas de determinação de mix de produção</b> .....	26
<b>2.3 Problemas de seleção de fornecedores</b> .....	27
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	29
<b>3.1 Fonte de dados da pesquisa</b> .....	29
<b>3.2 Materiais utilizados</b> .....	29
<b>3.3 Caracterização da pesquisa</b> .....	29
3.3.1 Abordagem da pesquisa .....	29
3.3.2 Método de pesquisa .....	30
<b>4 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO DA MARZARI ALIMENTOS</b>	31
<b>4.1 Custeio e formação do preço de venda dos produtos</b> .....	36
<b>5 MODELO PROPOSTO PARA O PROBLEMA INTEGRADO DE COMPRA E MIX DE PRODUÇÃO</b> .....	43
<b>5.1 Modelo 1: problema de mix de produção com estoque estático</b> .....	43
<b>5.2 Modelo 2: problema integrado de compra e mix de produção</b> .....	45
<b>5.3 Modelo 3: problema integrado de compra e mix sem aquisição parcial de carga</b> ..	48
<b>5.4 Modelo 4: problema integrado sem aquisição parcial de carga com formulação variável</b> .....	49
<b>6 ESTUDO DE CASO</b> .....	53
<b>6.1 Descrição da instância</b> .....	53
<b>6.2 Comparativo dos resultados do Modelo 4 com dados dos períodos analisados</b> ....	54
6.2.1 Comparação entre os planos de produção real e simulado .....	54
6.2.2 Comparação do faturamento .....	56
<b>7 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA A CONTINUIDADE DA PESQUISA</b> .....	58
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	60

## 1 INTRODUÇÃO

Não há dúvida da importância do agronegócio para a economia brasileira. O avanço tecnológico recente tem permitido uma evolução muito grande no desempenho do agronegócio no Brasil. As inovações na área da genética propiciaram ao agronegócio maior produtividade no campo e uma melhor competitividade dos produtos brasileiros inclusive no mercado internacional. Os avanços tecnológicos possibilitaram um rendimento superior nas lavouras, com melhor qualidade dos grãos em geral e um menor custo com defensivos agrícolas e agrotóxicos.

No contexto da produção relacionada ao agronegócio, o arroz tem um papel fundamental. Cultivado praticamente em todo país e tendo seu consumo difundido em todas as classes sociais, ocupa posição de destaque do ponto de vista econômico e social sendo responsável por suprir a dieta básica da população com um considerável aporte de calorias, proteínas e sais minerais. Em termos mundiais, o Brasil é o décimo primeiro no ranking dos maiores produtores de arroz do mundo e sua produção é basicamente destinada ao abastecimento do mercado interno, representando 1,4% da produção de arroz beneficiado no mundo em 2019/2020, de acordo com o Instituto Rio Grandense do Arroz e Foreign Agricultural Services/USDA - September 2019 (Tabela 1.1).

Tabela 1.1 – Produção mundial de arroz em 2019 - base beneficiado

<b>Ranking</b>	<b>País</b>	<b>Produção (Ton)</b>	<b>Produção %</b>
1	China	146000	29,5
2	Índia	112000	22,7
3	Indonésia	37400	7,1
4	Bangladesh	35300	5,7
5	Vietnã	28300	4,1
6	Tailândia	20500	2,7
7	Burma	13300	29,5
8	Filipinas	12200	2,5
9	Japão	7700	1,6
10	Paquistão	7500	1,5
11	Brasil	7140	1,4
12	Estados Unidos	5948	1,2
13	Camboja	5688	1,2
14	Nigéria	4900	1,0
15	Coréia do Sul	3880	0,8
16	Nepal	3530	0,7
17	Outros	42932	9,2

Fonte: (FAS, 2019).

De acordo com o Instituto Rio Grandense do Arroz, (IRGA), atualmente o Brasil é autossuficiente na relação produção e consumo. A maior concentração da produção e beneficiamento está na região sul do Brasil, especificamente no Rio Grande do Sul. Esta concentração de plantio de arroz no sul do Brasil se explica basicamente pela condição climática, de relevo e disponibilidade hídrica. Existem dois tipos de cultivos de arroz no país: em terras altas (sequeiro) e em várzeas (irrigado). No Sul do país predomina o plantio em terras de várzeas e é onde prevalece um maior rendimento de produtividade na lavoura com uma qualidade diferenciada do grão. De acordo com os dados da CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento, em 2019 a produção do Rio Grande do Sul representou 70,71% de todo arroz produzido no Brasil, totalizando 8.622 milhões de toneladas de arroz em casca. No período de 2011 a 2019 o Brasil produziu em média 11.746 milhões de toneladas de arroz, enquanto o Rio Grande do Sul neste mesmo período 8.249 milhões de toneladas, representando 70,20% do total produzido.

A indústria de arroz no Brasil, nos últimos anos, tem aprimorado o processo de beneficiamento e melhorado a qualidade do produto, oferecendo ao consumidor um produto diferenciado, com alta concentração de grãos nobres. A qualidade do arroz para comercialização pode ser avaliada com base em atributos visuais e sensoriais como o formato e tamanho dos grãos, rendimento de grãos inteiros bem como a aparência do e translucidez do grão, além do comportamento do arroz durante a cocção (VIEIRA; RABELO, 2006).

A Instrução Normativa nº 6, de 16 de fevereiro de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) define quais os defeitos e percentuais de tolerância que serão aceitos no pacote de arroz beneficiado, como o tamanho do grão, sua espessura, coloração, percentuais máximos de tolerância para diversos defeitos, tais como amarelo, vermelho, gessado e demais especificações. Segundo Vieira e Rabelo (2006), além da classe, todo o arroz destinado à comercialização deve ser enquadrado em tipos, que são expressos numericamente, em percentual ou ainda e definidos de acordo com a ocorrência de defeitos e com o percentual de grãos quebrados e farelo (quirera).

O Ministério da Agricultura determina ainda o padrão de qualidade para arroz em casca e arroz beneficiado, especificando limites aceitáveis de defeitos de acordo com o tipo. Portanto, qualquer um dos parâmetros estabelecidos excedidos na norma altera a tipificação do arroz. Esta referência é usada como parâmetro, na fiscalização por parte do Ministério da Agricultura, para o arroz beneficiado na gôndola dos pontos de venda, ou seja, do produto que será vendido, assim como para a indústria determinar o tipo do arroz em casca que está recebendo do produtor.

Atualmente, o grande dilema da indústria é que as variedades com maior rendimento no campo apresentam maiores defeitos no beneficiamento. Consequentemente a indústria precisa encontrar um mercado para destinar os defeitos retirados do processo de empacotamento do arroz com as marcas Premium ou tipo 1. Ocorre que nos últimos anos o consumo de produtos com tipificação inferior está tendo uma aceitação mais restrita, exceto em alguns estados no Brasil, onde o poder aquisitivo é menor e o consumidor não é tão crítico em relação a aparência do produto, ou então eventuais exportações onde o padrão estabelecido tenha maior tolerância para os percentuais de defeitos.

Desta forma, a aquisição do arroz em casca pela indústria passa a ser determinante para seu processo produtivo, pois dependendo da qualidade do produto, haverá um reflexo no processo de beneficiamento e também no produto que será empacotado. Há que se destacar ainda a importância do valor do produto a ser negociado para o setor de compras da empresa, bem como se sua qualidade atenderá a demanda de produção conforme o portfólio de produtos e o plano de produção do engenho. Logo, a combinação da formulação do produto acabado está diretamente relacionada com a especificação do produto e preço do que está sendo comprado.

Dado o contexto da indústria de beneficiamento de arroz, onde a racionalização dos recursos é um fator determinante, a Pesquisa Operacional é um tema importante para a busca da otimização dos resultados ou minimização dos custos. O suprimento de insumos e a equação de produção que resulta na melhor combinação de produção obedecendo formulação de produtos e os tipos de produtos acabados a serem produzidos e comercializados determinarão cenários diferentes para a indústria.

A formulação do preço de venda do arroz beneficiado passa pela transformação do preço do arroz em casca para o arroz beneficiado. Se, por um lado, os custos são incorporados para formação de preço do produto acabado e facilmente quantificados, por outro lado, os custos relacionados à matéria prima exigem uma atenção especial, pois são bastante variáveis. Como o custo da matéria prima está relacionado à qualidade e quantidade, o preço do produto irá se modificar de acordo com tais fatores.

Considerando que a qualidade do arroz em casca pode variar de produtor para produtor, até mesmo dentro de uma mesma propriedade, há necessidade de se avaliar especificamente cada veículo que chega na indústria para aferir sua qualidade. Não basta somente aferir a qualidade do produto no recebimento da mercadoria, é importante manter os controles de qualidade dos produtos armazenados com as condições adequadas. Não obstante, é necessário também

avaliar a evolução da qualidade do produto no momento do beneficiamento, isto porque no momento do beneficiamento há diversas etapas em que pode haver perda de rendimento do grão, causado por quebra de produto no processo produtivo, no descasque ou ainda no brunimento.

O custo da indústria de beneficiamento de arroz pode ser estruturado de diversas formas, no entanto, é perceptível que o custo de maior impacto na composição geral está relacionado com a aquisição do arroz em casca, principal insumo, seguido de custos logísticos, como embalagem e preparação de pedidos, e energia elétrica. Quando se detalha todo processo produtivo, tem-se outros custos expressivos no preço final do produto acabado, tais como, mão de obra, manutenção, taxa de classificação, comissão, entre outros. Ainda devem ser acrescentados os encargos tributários, taxas ou impostos que são incorporados ao custo final do produto, tais como ICMS, PIS COFINS, taxa CDO, Funrural entre outros.

Algumas indústrias ainda possuem custos logísticos realizados com frota própria, seja para abastecer a indústria ou realizar distribuição urbana de produto acabado. Mesmo que este custo seja absorvido pelo cliente na modalidade FOB (frete por conta do cliente) é necessário que estas despesas sejam alocadas e apropriadas corretamente para não distorcer a análise e para que seja estabelecido ao custo de produção mais próximo da realidade possível.

## **1.1 Objetivos da pesquisa**

Ao conhecer o funcionamento da indústria de beneficiamento de arroz, são perceptíveis as possibilidades de estudos que podem ocorrer. A seguir, serão apresentados os objetivos que nortearam a presente pesquisa.

### **1.1.1 Objetivo geral**

O presente estudo tem objetivo de caracterizar de forma detalhada o processo de beneficiamento de arroz em casca, desde a etapa de recebimento até empacotamento e expedição, bem como processos de formação de preço e comercialização.

Tem o objetivo ainda de propor uma ferramenta de otimização, com base em programação matemática, que vise maximizar a produção de arroz, com base em diferentes formulações e produtos, demonstrando o melhor resultado possível.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Aprimorar o entendimento de como é feita a composição do preço de venda dos produtos da empresa estudo, propondo melhorias;
- Utilizar conceitos de programação matemática para elaborar um modelo que auxilie na tomada de decisão dos processos de aquisição do produto e definição de mix de produção;
- Desenvolver um estudo de caso na empresa Marzari Alimentos, testando um dos modelos matemáticos propostos com dados reais de oferta de insumos, demanda de produtos e custos de produção.

## 1.2 Justificativa e Importância

É evidente o aumento do plantio das variedades de arroz que produzem um maior rendimento nas lavouras, mas tem sua qualidade do grão, na maioria das vezes, prejudicada. Para a indústria independente do arroz que recebe para beneficiar, o produto acabado deve manter o padrão de qualidade. Desta forma o impacto está diretamente relacionado na formação de preço, pois haverá defeitos que serão descartados do processo e precisarão ser realocados em outros produtos ou mercados.

Considerando a complexidade das variáveis no abastecimento e a necessidade de manutenção do padrão de qualidade no produto acabado, a tomada de decisão a respeito da estratégia de aquisição do insumo pode ser decisiva para o planejamento industrial e para obtenção de resultados operacionais e comerciais na indústria de arroz. Desta forma, se faz necessário desenvolver ferramentas que avaliem as melhores alternativas de compra de matéria prima considerando as variáveis do momento da oferta. Avaliar corretamente a aquisição da matéria prima, bem como o resultado do produto a ser gerado no processo produtivo, pode definir maiores ganhos ou perdas no processo.

O desenvolvimento de um modelo que possa auxiliar as tomadas de decisão sobre estratégias de aquisição de insumos e determinação de mix de produção visando otimizar os resultados financeiros, pode direcionar as ações da indústria para, por exemplo, efetuar a aquisição de um lote com valor e qualidade diferenciados ou ainda uma reestruturação na formulação do produto acabado, de tal forma que otimize os resultados em termos de melhorar estratégia de compras, programação da produção e sobras de estoque e, ainda assim, esteja enquadrado na

legislação vigente.

Obviamente, o preço do arroz em casca não é determinado unilateralmente, existem muitas outras variáveis que podem influenciar nas oscilações de preço ao longo do ano. De forma geral, no mercado interno os preços dos grãos se comportam de acordo com a lei de oferta e procura. Na maioria das vezes, na safra, o preço tende a baixar, pois há mais disponibilidade de oferta de arroz em casca e o excesso de oferta do produtor para indústria pressiona os preços para baixo. O varejo tende a reduzir os fluxos de negócio com a expectativa de comprar mais barato logo adiante e mostra desinteresse nas negociações, fazendo com que as tendências sejam baixas. O inverso também é verdadeiro, quando o produto está em tendência de alta pela escassez, aumento significativo nas exportações, o varejo deseja antecipar as compras e a indústria não consegue se abastecer pois o produtor não quer vender o produto acreditando que em breve sua mercadoria estará mais valorizado, sustentando a tendência de alta. A Indústria sempre está no meio da cadeia de abastecimento e sujeita à gangorra de preços e mudança de interesse das duas partes, do produtor e do varejo.

Os preços também flutuam de acordo com influências climáticas e com a previsão de rendimento das safras, que podem animar ou desanimar mercado fazendo com que os preços aumentem ou baixem. Outros fatores que influenciam no preço interno da mercadoria, são as comercializações com o mercado externo, seja no sentido de importação ou exportação. Ações reguladoras ou fomentadoras do governo bem como os níveis de estoque de passagem também podem determinar flutuações de preço pois mexem com expectativas de negócios. Desta forma, os preços de compra são dados naturalmente pela qualidade do produto e por diversas expectativas e estreito vínculo com oferta e demanda.

Dado que o preço do arroz em casca é determinado pelo mercado e que há diversas possibilidades e hipóteses de combinações de formulação de produtos no suprimento e no produto acabado, se faz necessária uma análise detalhada dos processos desde o recebimento, passando pela armazenagem e expedição para que se convencie padrão de modelo de decisão que indique previsibilidade nas ações de compra e venda com foco no resultado.

Esta Dissertação está estruturada da maneira que segue:

- Capítulo 1 - Introdução: Esta seção inicia com informações sobre o panorama da produção de arroz no Brasil; a seguir, são descritos o problema de pesquisa e os objetivos esperados. Por fim, a justificativa para o desenvolvimento deste trabalho e sua estrutura;
- Capítulo 2 - Referencial Teórico: Este capítulo apresenta conceitos de Pesquisa Operaci-

onal e procedimentos para modelar sistemas e aspectos sobre métodos de precificação de *commodities*;

- Capítulo 3 - Metodologia: Este capítulo apresenta a metodologia atual empregada na empresa para estabelecer o preço do arroz em função das suas características de qualidade;
- Capítulo 4 – Caracterização do sistema produtivo da Marzari Alimentos: neste capítulo é apresentada a caracterização dos processos de compra e beneficiamento de arroz em casca realizado na empresa que foi objeto do estudo de caso desta dissertação;
- Capítulo 5 – Modelo proposto para o problema integrado de compra e mix de produção: este capítulo apresenta o modelo matemático proposto para auxiliar a tomada de decisão quanto à seleção de fornecedores para os insumos da empresa e as quantidades de cada produto a serem fabricadas. São detalhados os quatro modelos desenvolvidos para o problema proposto até o desenvolvimento do modelo final, que atende de maneira bastante fidedigna as necessidades da empresa;
- Capítulo 6 – Resultados e discussão: neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para o estudo de caso na Marzari Alimentos;
- Capítulo 7 – Conclusão: por fim, neste capítulo são apresentadas as considerações finais a respeito do trabalho desenvolvido, suas contribuições, limitações e sugestões para a continuidade da pesquisa sobre o tema.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta conceitos importantes para a compreensão do trabalho realizado. Inicialmente são apresentados estudos sobre a caracterização de sistemas produtivos e processos de beneficiamento de cereais. A seguir, uma breve discussão sobre custeio e precificação de *commodities*. Por fim, são apresentados estudos que abordam os problemas de seleção de fornecedores e mix de produção, seja de forma individual ou agregando os dois processos de decisão.

### 2.1 Caracterização de sistemas produtivos de beneficiamento de grãos

Os tipos de arroz que o mercado está interessado pode mudar consideravelmente de acordo com o fator de relevância para cada destino. Dois exemplos característicos bem distintos são a exportação da Itália de grãos arredondados e a importação de grão longos. Já na Califórnia prevalece a importação e arroz tailandês fragrante (ROCHE, 1993).

A aparência do arroz é um dos principais fatores que determinam seu valor comercial, normalmente definida de acordo com tamanho do grão, forma, translucidez e uniformidade do grão (SMIDERLE; DIAS, 2008).

Consumidores do arroz de diversos tipos de mercado dão preferência para arroz com grãos translúcido, sem áreas opacas, livre de manchas e imperfeições, que podem ser causadas por ataque de insetos ou por doenças (LI; XIE, 2009).

Segundo Vieira e Rabelo (2006), além da classe, todo o arroz destinado à comercialização deve ser enquadrado em tipos, que são expressos numericamente, em percentual ou ainda e definidos de acordo a ocorrência de defeitos e com o percentual de grãos quebrados e quirera.

#### 2.1.1 Produção de arroz em casca

Em 2019, o Brasil produziu 10.449 milhões de toneladas de arroz em casca, o menor volume produzido na série histórica dos últimos oito anos, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), tal como apresenta a Tabela 2.1.

O quantitativo que relaciona a área plantada e a produtividade no Brasil no período 1976 a 2019, está representada na Figura 2.1 e mostra a inversão da relação área produtividade, ou seja, a redução da área plantada frente ao aumento significativo da produtividade. Em 1976 a

área plantada no Brasil era de 5 milhões e 992 mil hectares com produtividade de 1 milhão e 501 mil quilos de grãos. Porém em 2019 a área plantada foi de 1 milhão 697 mil hectares para uma produtividade de 6 milhões 157 mil quilos de arroz.

Tabela 2.1 – Volume de produção de arroz no Brasil entre as safras 2011/2012 e 2018/2019.

Região	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019
N	947,3	1.030,2	967,2	993,6	1.017,8	1.085,8	1.065,7	940,0
NE	769,0	747,3	914,6	694,7	393,7	437,3	525,9	267,1
CO	744,5	770,8	814,1	838,9	608,0	732,3	676,5	562,4
SE	154,6	138,5	86,5	76,6	54,6	54,7	53,0	57,7
S	8.984,1	9.132,9	9.339,2	9.840,7	8.528,9	10.017,7	9.743,1	8.622,2
Total	11.599,5	11.819,7	12.121,6	12.444,5	10.603,0	12.327,8	12.064,2	10.449,4

Fonte: (CONAB, 2020).

Mesmo com a quebra de safras e consequente redução da produtividade, a média de produtividade no Estado é a maior de todas as regiões no Brasil, atingindo 7.411 milhões de toneladas por hectare em média nos últimos 8 anos, que é 4 vezes maior do que a produtividade média do estado do Nordeste, conforme dados da CONAB no mesmo período. Isto se explica basicamente pelas condições propícias ao cultivo como por exemplo, relevo, condições hídricas, cultivares e tecnologia de campo. Outro fator determinante para esse bom desempenho é a forte atuação dos órgãos de pesquisa e desenvolvimento de cultivares do arroz, tais como IRGA, Instituto Rio Grandense do Arroz, Emater, Fundo Latino Americano do Arroz Irrigado (FLAR), entre outros. Aconteceram elevados avanços na produção de arroz irrigado em terras baixas do Rio Grande do Sul nas últimas décadas, decorrentes principalmente pelo incremento na produtividade de grãos, avanços significativos na área da pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias ao longo das últimas décadas. (STRECK, 2017).

Apesar de a variedade IRGA 424 RI tem uma produtividade média de 8.100 toneladas por hectare, apresenta um percentual de defeitos maior do que as cultivares IRGA 409 e 417, que são cultivares com menor produtividade no campo e com excelente qualidade de grão e cocção.

A alta produtividade no extremo oeste do estado está relacionada também ao percentual do cultivar 424 RI que tem alto grau de rendimento é a mais plantada do estado. Na fronteira oeste foi plantado 53% da variedade IRGA 424 RI em 2018. Esta variedade apresenta uma excelente produtividade na área plantada, porém a qualidade é prejudicada por defeitos que apresenta no arroz. A distribuição do cultivo de cada variedade nas diferentes regiões do Rio Grande do Sul é mostrada na Figura 2.3.

Para se ter uma noção da variabilidade do arroz cultivado, existem mais de 85.000 vari-

idades de arroz catalogadas nos estoques de pesquisa do Instituto Internacional de Pesquisa do Arroz (IRRI), e existem mais de 120.000 cultivares conhecidas (ROCHE, 1993).

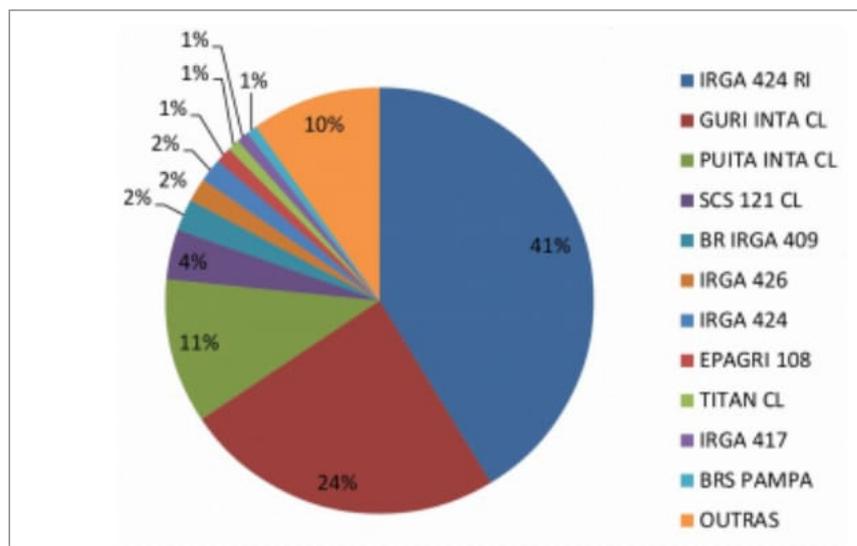
Figura 2.1 – Área cultivada x produtividade do arroz em casca no Brasil - 1976 a 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A composição do arroz em casca num padrão médio de rendimento é composta por 58% de grãos inteiros, 10% de quebrados, 10% de farelo e 22% de casca. Naturalmente estes percentuais podem mudar para cima ou para baixo conforme a safra e a variedade do cultivar (Figura 2.2).

Figura 2.2 – Percentual de cultivo das principais variedades de arroz.

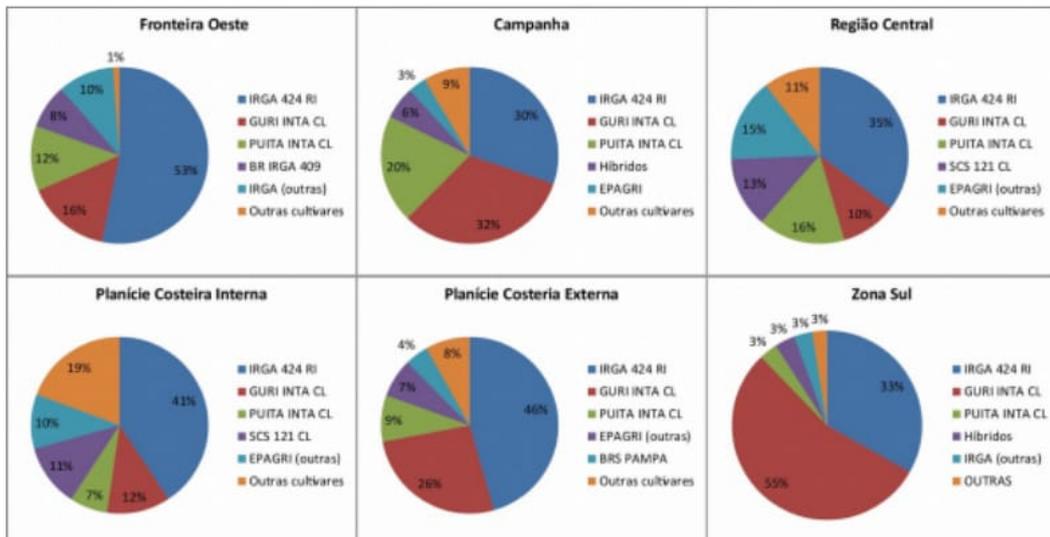


Fonte: Elaborado pelo autor.

A diferenciação observada nos preços de venda do insumo pelo produtor para indústria conforme variedade e a qualidade do produto. Em geral as indústrias estabeleceram preços diferentes para variedades nobres, convencionais e comerciais. Na região central, no entanto,

onde a oferta de produto não é tão volumosa quanto na região oeste há uma certa dificuldade de estabelecer diferenciações de preço para produto nobres e convencionais, conforme Figura 2.3.

Figura 2.3 – Distribuição do cultivo de variedades de arroz no RS.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A escassez de oferta de produto e a própria concorrência na aquisição na região central faz com que as indústrias não convencionem diferenciações de produto ou ainda realizem alguma concessão de descontos de umidade, impureza ou secagem, com objetivo de manter, prospectar produtores ou ainda não perder competitividade para as concorrentes. O rendimento do arroz em casca neste caso é que predomina para diferenciação dos preços. Entenda-se rendimento a soma entre grão inteiro e grão quebrado que o arroz em casca vai gerar, 58% de grãos inteiros e 10% de grãos quebrados, geram 68% de arroz descascado - o restante é farelo e casca.

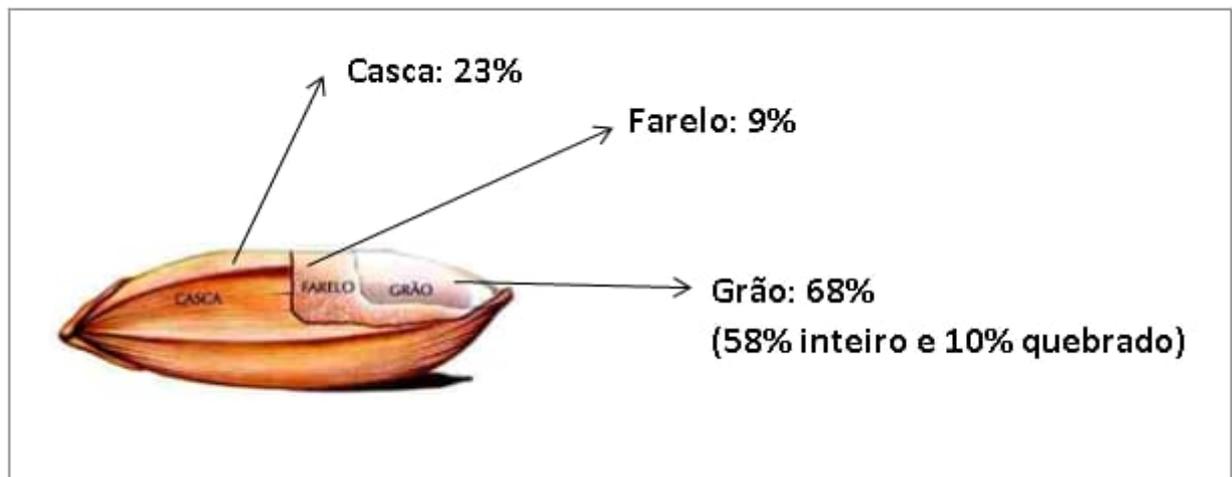
O rendimento do arroz é, sem dúvida nenhuma, um elemento importantíssimo para indústria, pois traduz no processo produtivo a quantidade de arroz que será gerada. Porém além do rendimento, são diversas outras variáveis de decisão que indicam a melhor opção entre as ofertas de arroz em casca, tais como logística, disponibilidade, qualidade, rendimento e defeitos do arroz. Portanto, para aquisição do arroz a indústria precisa avaliar qual a distância e o tipo de acesso ao local de armazenagem, pois o custo logístico pode encarecer muito o preço da matéria prima para o engenho, além disso o acesso ao local de carregamento e a agilidade no carregamento pode ser um fator decisivo, haja vista as limitações na infraestrutura de transportes do estado. Outro fator determinante é a qualidade deste produto no que diz respeito aos tipos de defeitos que apresenta, pois, a qualidade do grão pode ser prejudicada no processo de armazenagem, além do que os percentuais de impureza, teor de amarelo, vermelho entre outros

relacionados a qualidade do grão podem valorizar ou desvalorizar o produto. A relação custo benefício do produto é medida pelo conjunto das informações acima e de acordo com oferta e procura do produto.

### 2.1.2 Aspectos morfológicos sobre o grão

No passado, o percentual de inteiro já foi considerado como padrão 56% de inteiro e 8% de quebrado, totalizando 64% de rendimento total. Amostras de cultivares recentes apresentam um rendimento de até 67% de inteiros e 4% de quebrados, totalizando um rendimento de 71%. Para a indústria, este rendimento é extremamente relevante e diretamente relacionado ao preço do produto, bem como ao desempenho do engenho. Porém, o rendimento entre inteiro e quebrado não pode ser considerado isoladamente, pois ainda há diversas classificações dentro do tipo inteiro e quebrado mostrados na Figura 2.4.

Figura 2.4 – Composição do grão de arroz.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além do rendimento do arroz, outro fator relevante é a qualidade dos grãos inteiros e quebrados. De acordo com o cultivar do arroz o percentual de defeito pode variar. A variedade 424 IRGA, por exemplo, apresenta em média 30% a mais de defeitos relacionados ao gesso em relação a outras variedades. Os defeitos de gesso podem variar de acordo com o percentual de preenchimento do defeito do grão, ou seja, grãos com pequeno percentual de gesso até 24% de preenchimento de defeito de gesso é considerado barriguiinha, grão com percentual de gesso entre 25 e 49 são considerados barriga branca, com percentuais entre 50 e 74 são

considerados barrigão e acima de 75% é considerado totalmente gessado. Essa nomenclatura não é um padrão oficial entre os engenhos e pode sofrer variações e entendimentos diversos de acordo com os padrões de qualidade estabelecidos por cada empresa. Este enquadramento apresentado parametrizando percentuais de defeitos de gesso é o mesmo utilizado pela empresa de classificação Clacereais (<http://www.clacereais.com.br/>), que atua na certificação de grãos no Rio Grande do Sul, elaborando laudos e certificações para arroz e soja.

Esse tipo de defeito não altera a qualidade do produto depois de cozido, porém visualmente se destaca negativamente na embalagem do produto acabado, depreciando todo grão translúcido que está no pacote e fazendo com que o consumidor desvalorize o produto por considerar de qualidade inferior. Esses defeitos também influenciam diretamente no preço do produto acabado, isto porque são tratados como rejeitos no empacotamento de marcas nobres. Alguns defeitos típicos do arroz são mostrados na Figura 2.5. Dentre os principais cultivares plantados no Rio Grande do Sul estão IRGA 424 RI, GURI INTA CL, PUITA INTA CL. A maior parte da produção de arroz no Rio Grande do Sul é na metade sul do estado com maior concentração no extremo oeste do estado, especificamente nos municípios de Uruguaiana e Itaqui, Figura 2.5.

Figura 2.5 – Defeitos característicos no grão de arroz.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A IN nº 6 do MAPA, definiu padrão oficial de classificação, determinando requisitos identidade, qualidade padronização e nomenclaturas e termos técnicos. Em seus anexos determina limites e tolerâncias para tipificação de arroz, em casca natural, em casca parboilizado, beneficiado integral, beneficiado parboilizado polido, beneficiado parboilizado integral, beneficiado polido, fragmentos de arroz entre outros.

Na Tabela 2.2 estão sumarizados os limites e tolerâncias para determinação do tipo para arroz em casca natural, conforme recomendação do Ministério da Agricultura (2020).

Tabela 2.2 – Arroz em casca - limites máximos de tolerância em % da massa

<b>Tipo</b>	<b>Ardidos</b>	<b>Picados ou manchados</b>	<b>Gessados e verdes</b>	<b>Rajados</b>	<b>Amarelos</b>
1	0,15	1,75	2,00	1,00	0,50
2	0,30	3,00	4,00	1,50	1,00
3	0,50	4,50	6,00	2,00	2,00
4	1,00	6,00	8,00	3,00	3,00
5	1,50	8,00	10,00	4,00	5,00

Fonte: MAPA (2020).

Em se tratando de grãos beneficiados e polidos, os limites também consideram possível presença de impurezas diversas oriundas do beneficiamento, grãos mofados e farelo de arroz (quirera), conforme a Tabela 2.3

Tabela 2.3 – Arroz beneficiado polido - limites máximos de tolerância em % da massa

<b>Tipo</b>	<b>Impurezas</b>	<b>Mofados/ardidos</b>	<b>Picados/manchados</b>	<b>Gessados/verdes</b>	<b>Rajados</b>	<b>Amarelos</b>	<b>Quirera/quebrados</b>	<b>Max. Quirera</b>
1	0,10	0,15	1,75	2,00	1,00	0,50	7,50	0,50
2	0,20	0,30	3,00	4,00	1,50	1,00	15,00	1,00
3	0,30	0,50	4,50	6,00	2,00	2,00	25,00	2,00
4	0,40	1,00	6,00	8,00	3,00	3,00	35,00	3,00
5	0,50	1,50	8,00	10,00	4,00	5,00	45,00	4,00

Fonte: MAPA (2020) - adaptado.

Com aperfeiçoamento do sistema eletrônico de seleção, as indústrias buscaram se consolidar no mercado trabalhando um produto com padrões de qualidade diferenciados, empacotando grãos nobres bem selecionados e com o mínimo de grão quebrados e de defeitos de gesso entre outros, estabelecendo padrões de qualidade muito superiores aos determinados pela Instrução normativa do Ministério da Agricultura.

### 2.1.3 Precificação e custeio do arroz em casca

A qualidade do arroz para comercialização pode ser avaliada com base em atributos visuais e sensoriais como o formato e tamanho dos grãos, rendimento de grãos inteiros bem como a aparência

do e translucidez do grão, além do comportamento do arroz durante a cocção (VIEIRA; RABELO, 2006).

Propriedades físicas que qualificam o rendimento de grãos, forma uniforme, brancura e, na maioria dos países, translucidez. Essas características são imediatamente óbvias para os consumidores, e assim, são os principais fatores que definem o valor de mercado.

Desta forma os preços de compra são dados naturalmente pela qualidade do produto e por diversas expectativas e estreito vínculo com oferta e demanda. Já na venda de arroz beneficiado cada engenho monta a estrutura de custos de acordo com suas operações. Não há um formato padrão que é utilizado para prever centros de custos e determinação do preço de venda em uma única ferramenta.

Os custos identificados no processo de beneficiamento podem ser classificados como fixos ou variáveis, mas há ainda aqueles que podem ser eventuais e sazonais, como por exemplo os custos relacionados a secagem do arroz em casca na safra e os custos de frete para abastecimento da indústria também no período de safra. Obviamente, os custos de transporte podem ser absorvidos pela indústria ou pelo produtor dependendo da negociação ou do momento. O fato, porém, é que no período de safra os custos com secagem e transporte para as indústrias aumentam significativamente nesse período. Desta forma se os custos fossem apurados e apropriados naquele mês isoladamente seria difícil precificar o produto acabado mantendo a competitividade. Por este motivo é que algumas indústrias consideram os 12 últimos meses como período para levantamento de custo médio de produção fazendo com que o impacto excessivo do período de safra seja diluído e racionalizado num período maior.

É possível afirmar, desta forma, que ao separar o custo do arroz em casca e incorporarmos todos os demais custos agregados, sejam eles tributários ou aqueles relacionados a custo produção, comissão, fretes e ainda adicionarmos a margem de resultado da negociação teremos o preço de venda.

## **2.2 Problemas de determinação de mix de produção**

O estudo de problemas envolvendo mix ótimo de produção, apoiado na Teoria das Restrições, atraiu crescente interesse da comunidade acadêmica, originando trabalhos de otimização baseados em diversas técnicas, como algoritmo genético, Lógica *fuzzy*, redes neurais e diversas outras. Onwubolu e Mutingi (2001) utilizaram o algoritmo genético para resolver problemas de mix de produção. Os autores resolveram dois conjuntos de instâncias: o primeiro continha dados resolvidos anteriormente na literatura, e o segundo continha instâncias geradas aleatoriamente. Os

resultados do algoritmo alcançaram performance similar aos reportados anteriormente na literatura, obtidos via programação linear inteira e uma heurística para problemas modelados via Teoria das Restrições.

Garba et al. (2020) aplicaram o método simplex para determinar o mix ótimo de produção de uma panificadora. Os resultados obtidos indicaram possibilidade de melhoria nos lucros da empresa com o enfoque na produção do produto de linha mais básica, dado que sua margem de contribuição era similar as das linhas premium e o incremento da produção possibilitou aproveitamento praticamente integral dos insumos de produção disponíveis.

Ginting et al. (2018) aplicaram um modelo híbrido empregando Lógica *fuzzy* e Programação Linear Inteira Mista multiobjetivo para determinar o mix ótimo de produtos de uma empresa do ramo têxtil. Os resultados obtidos com a resolução do modelo proposto obtiveram melhoria global de 4,81% nos quatro critérios avaliados, que por ordem de priorização do método AHP, foram: (1) maximização de lucro, (2) minimização de custos, (3) atendimento da demanda e (4) utilização dos recursos de produção com gargalos.

Além de maximização de lucro, a otimização de mix de produção pode também ser importante para outros fatores, tais como redução do inventário em processo (especialmente em casos nos quais se emprega manufatura celular ou tecnologia de grupo), passando até pela redução de riscos associados à produção de lotes prioritários, como descrito no trabalho de Chang et al. (2016).

Ainda, no sentido de subsidiar outros processos de decisão a partir da determinação do mix de produção, Bootaki et al. (2016) consideraram o mix de produção como critério para definir o arranjo de um sistema produtivo com características de tecnologia de grupo. O modelo multiobjetivo desenvolvido pelos autores busca simultaneamente a minimização de 'vazios' na matriz de tarefas (trabalhadores x estações de trabalho) e na matriz de vantagens (trabalhadores x trabalhadores). A resolução do modelo proposto empregou o algoritmo NSGAI, que obteve bons resultados para instâncias aleatórias com até 60 trabalhadores, 40 máquinas e 12 células de produção.

### **2.3 Problemas de seleção de fornecedores**

Usualmente, problemas de seleção de fornecedores integram decisões para consolidação da cadeia de suprimentos na qual as empresas se inserem. O processo de seleção de fornecedores considera a disponibilidade dos serviços dos fornecedores e também as necessidades da empresa que devem ser atendidas. As questões fundamentais que este problema busca responder são de qual origem e qual quantidade comprar (SENYIGIT, 2013).

O problema de aquisição de insumos consiste em três atividades centrais: decisão do ta-

manho de lote de compra (lote econômico), seleção dos fornecedores e decisão sobre o transporte da mercadoria. Ainda que tais decisões sejam interdependentes entre si, existem casos nos quais é possível tomá-las separadamente, pois nem sempre é possível realizar pedidos com quantidades livres e tampouco decidir sobre frete (CHOUDHARY; SHANKAR, 2014).

O tamanho do lote de compra determina a dimensão dos pedidos de compra. O volume de produtos adquiridos pode sofrer restrições por fatores internos, como capacidade produtiva limitada, pouco espaço para armazenamento e restrições orçamentárias, ou externos, como lotes mínimos e máximos estipulados pelo fornecedor. Awasthi et al. (2009) consideram limitações de lote mínimo e máximo e acrescentam um fator para aleatorizar a demanda do comprador, usualmente tratada de maneira determinística. Os autores empregaram um algoritmo baseado em uma função de densidade de probabilidade de demanda para os produtos, o qual foi testado em um conjunto de instâncias aleatórias contendo de 2 até 10 fornecedores. Neste modelo, foi assumido que os potenciais fornecedores atendiam as especificações mínimas de qualidade do comprador e não haviam economias de escala.

Na pesquisa de Burke (2007), a seleção de fornecedores leva em consideração limitações quanto ao tamanho de lotes (mínimo e máximo). Os autores desenvolveram um modelo para apoiar de maneira integrada o processo de decisão baseado em seleção de fornecedor(es) presentes em um *pool* qualificatório e as quantidades das ordens de compra. Dada como incerta, a demanda dos produtos fabricados foi tratada como uma função de probabilidade. Nesta abordagem, os fornecedores tiveram associados a si um fator de confiabilidade, índice percentual de insumos conformes obtido do histórico de compras (razão entre itens com não conformidades e total de itens adquiridos).

Choudhary e Shankar (2014) desenvolveram uma abordagem multi objetivo para o problema de seleção de fornecedores, na qual foram consideradas, simultaneamente, a seleção da origem dos insumos, a forma de entrega e o tamanho dos lotes de compra, buscando minimizar o total de itens rejeitados, os custos unitários de compra, de frete e manutenção de estoques, e de atrasos na entrega. Os autores utilizaram três métodos de resolução: Preemptive GP model, Non-preemptive GP model e *Weighted max–min fuzzy GP model*.

A abordagem de Forghani et al. (2018) consistiu em um modelo para seleção de fornecedores aplicada à cadeia de suprimentos de uma indústria farmacêutica. Na resolução do modelo, os autores utilizaram três metodologias distintas: PCA, Z-TOPSIS e MILP.

Neste Capítulo, foi possível observar a existência de normativas bem estabelecidas sobre a qualidade do grão e tipificação de culturas. Adicionalmente, foram apresentados trabalhos que abordam a temática de seleção de fornecedores e elaboração de mix de produção. O próximo Capítulo apresenta um resumo dos procedimentos metodológicos utilizados nesta dissertação.

## **3 METODOLOGIA**

Este capítulo apresenta os métodos de pesquisa empregados e materiais utilizados. Primeiramente são apresentadas as fontes dos dados utilizados na caracterização do sistema produtivo e construção do modelo matemático e das instâncias resolvidas por ele. A seguir, são descritos os recursos utilizados na pesquisa. Por fim, é apresentada a caracterização da pesquisa desenvolvida nesta dissertação.

### **3.1 Fonte de dados da pesquisa**

Realizou-se uma análise documental desde a coleta de dados do presente estudo. Para tanto, utilizaram-se dados disponibilizados pela empresa, dados de portais específicos da cultura e comercialização do arroz, órgãos de governo e da legislação pertinente.

A análise documental foi realizada com informações disponibilizadas pela Marzari Alimentos, considerando dados sobre o recebimento de arroz em casca, características sobre a qualidade dos grãos e rendimento médio dos lotes recebidos pela empresa no período analisado, bem como preço de aquisição por quilograma de insumo e demanda média para as diferentes linhas de produtos beneficiados.

### **3.2 Materiais utilizados**

A modelagem matemática presente nesta dissertação foi escrita em linguagem ZIMPL (Zuse Institut Mathematical Programming Language - <https://zimpl.zib.de/>), e o modelo matemático foi resolvido com o software comercial IBM ILOG CPLEX 12.9.0.0.1 (2017), utilizando configuração padrão. A elaboração do texto e resolução do modelo foram realizadas em um computador equipado com processador Intel(R) Core(TM) i5-10210U CPU @ 1.60GHz 2.11Ghz e 8,00 Gb de memória RAM.

### **3.3 Caracterização da pesquisa**

#### **3.3.1 Abordagem da pesquisa**

A pesquisa realizada nesta dissertação utilizou abordagem combinada, de caráter exploratório, com elementos de pesquisa qualitativa e quantitativa, dado que foi apresentada uma caracterização do sistema produtivo da Marzari Alimentos e desenvolvidos modelos matemáticos para

simular um ambiente de produção e comparar os resultados obtidos no experimento com os dados dos planos de produção realmente implementados pela empresa nos meses de abril e maio de 2021.

O modelo matemático utilizado para realizar a simulação descrita no parágrafo anterior, denominado Modelo 4, foi desenvolvido a partir de modificações sucessivas incorporadas em três modelos menos sofisticados. O Modelo 1 foi desenvolvido para determinar o mix de produção ótimo da empresa em termos de faturamento, ou seja, considerou estoque estático e não incorporou elementos relacionados a aquisição de insumos; o Modelo 2 passou a integrar elementos que integravam decisões de compra e determinação de mix de produção; o Modelo 3 modificou restrições a respeito da aquisição dos insumos, incorporadas no Modelo 2, com o intuito de permitir apenas a aquisição integral da carga de grãos de cada fornecedor; por fim, o Modelo 4 passou a permitir formulações diferentes para cada produto do mix, respeitando intervalos estabelecidos por normas governamentais.

### 3.3.2 Método de pesquisa

A abordagem quantitativa utilizou, nesta dissertação, dois métodos distintos: pesquisa de avaliação, para mapear os processos na empresa e obter dados reais para os elementos que integram o modelo matemático, e simulação, para manipular as variáveis do modelo a fim de validá-lo e testar sua robustez. Os dados quantitativos, utilizados nos experimentos com o modelo matemático, são classificados como contínuos, já que dizem respeito à características oriundas de medição, como percentual de grãos quebrados em uma carga recebida, e discretos, obtidos dos históricos de recebimento de insumos da empresa, como quantidade adquirida de certo produtor e custo de aquisição.

A abordagem qualitativa utilizada no desenvolvimento deste trabalho lançou mão de uma pesquisa-ação ao invés de meramente um estudo de caso, uma vez que o autor possui familiaridade com a empresa e é parte integrante de uma equipe envolvida com melhoria de processos organizacionais nela desenvolvidos (MIGUEL, 2012). Os dados qualitativos, referentes à caracterização do sistema produtivo, são do tipo nominais, pois prescindem de qualquer hierarquização ou ordenação.

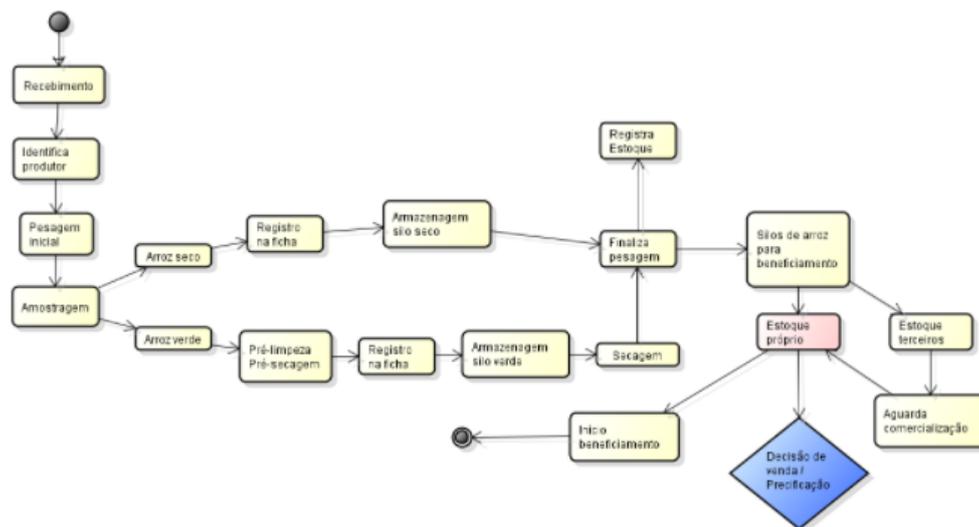
Definidos os métodos para elaboração da pesquisa, o Capítulo 4 discorre sobre a caracterização do sistema produtivo da empresa Marzari Alimentos, empresa que atua no ramo de beneficiamento de arroz.

## 4 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO DA MARZARI ALIMENTOS

A Indústria Marzari beneficia em sua unidade apenas o produto arroz branco, longo fino nos seus diferentes tipos e marcas. Portanto os processos, fluxos de produção e etapas de beneficiamento, bem como metodologia de precificação utilizadas na Marzari tem suas especificidades que podem se diferenciar de outros engenhos, seja no *layout* operacional ou até mesmo na formação de preços. O processo de industrialização normalmente obedece a um fluxo semelhante nas indústrias que beneficiam arroz branco, porém apresentam diferenças significativas no processo de industrialização do arroz integral e parboilizado. O fluxo do processo do engenho está descrito de forma resumida em dois diferentes quadros.

No primeiro deles o processo descreve desde o recebimento até o início ou entrada para o processo de beneficiamento, apontando fator de tomada de decisão para comercialização, conforme esquematizado na Figura 4.1. No segundo quadro é demonstrado o fluxo do processo de beneficiamento, detalhando as diferentes etapas de separação, seleção dos grãos até o seu empacotamento, descrito na Figura 4.2.

Figura 4.1 – Fluxograma de produção da Marzari Alimentos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nessa primeira etapa descrita na Figura 4.1 é descrito o processo do recebimento até a armazenagem e é onde os processos de controle de classificação, lançamento dos controles no sistema de gestão interno são realizados. Importante destacar que nesse processo o produto perde a identidade e passa ser reconhecido através de relatórios e registros fiscais, mantendo suas quantidades e quali-

dades devidamente registradas na ficha de cada produtor. O produto de terceiros sempre é recebido em nome do próprio produtor e na modalidade a depósito, ou seja, é de propriedade do produtor que depositou e só poderá ser utilizado após ser adquirido e transferido para o comprador, no caso a Marzari Alimentos. Após o recebimento e amostragem a única diferenciação é se o produto é seco ou verde. Define-se por arroz verde aquele recém colhido, com alto grau de umidade e que não passou pelo processo de secagem. O produto seco possui um percentual de umidade em torno de 12% e são classificados imediatamente e destinados para descarga e armazenagem em silos de produto seco, estando pronto para o beneficiamento, caso já tenha sido adquirido pela empresa.

Já os produtos verdes são tratados de forma diferente: a amostra segue para um secador de amostra para depois ser classificado. Enquanto o caminhão segue para descarga na moega de produto verde, passa pela pré-limpeza e então segue para o processo de secagem para depois ser direcionado para os silos de arroz seco e estar pronto para o beneficiamento, caso já tenha sido comprado pela empresa. Vale ressaltar que no momento do beneficiamento não há possibilidade de definir qual produto foi comprado de determinado produtor, portanto os produtos são consumidos sequencialmente. Ao depositar o produto nos silos da empresa o produtor naturalmente vai ofertar preferencialmente para própria indústria que armazenou. Não é usual o produtor depositar o arroz na indústria e retirar para vender a outrem, mas caso eventualmente ocorra, a indústria deve entregar a qualidade e quantidade do produto que está registrado em seus saldos de estoque.

Na Figura 4.2 é possível verificar a descrição do processo de forma operacional, que vai desde o início do descasque até o empacotamento. Este processo é separado em diversas etapas e é um processo bastante automatizado. A apresentação destas etapas é para entendimento do fluxo e maior compreensão do processo produtivo, visto que a parte operacional pode representar perdas significativas no processo, extraindo um resultado diferente do que foi identificado nas amostras.

No processo produtivo há diversas etapas que representam riscos para perda de produtividade e rendimento. No processo de descasque e polimento, por exemplo, há possibilidade de quebra dos grãos da mesma forma que nas eletrônicas onde é feito a separação dos defeitos do arroz pode haver descarte de uma quantidade significativa de grão bons junto com os com defeitos, dependendo do grau de sensibilidade ajustado para seleção.

O arroz para ser descascado passa num espaço pequeno entre 2 rolos de borracha com velocidades diferentes e esta fricção provoca a retirada da casca do arroz. Em seguida a casca é separada do arroz descascado por um processo pneumático que com ar comprimido expulsa a casca para outra parte do processo. Naturalmente nem todo arroz que passa nesse de descasque é totalmente descascado, por esse motivo é feita novamente uma separação do arroz que não foi descascado, chamado marinheiro, para que este volte para etapa anterior e conclua ao processo. A separação nessa etapa

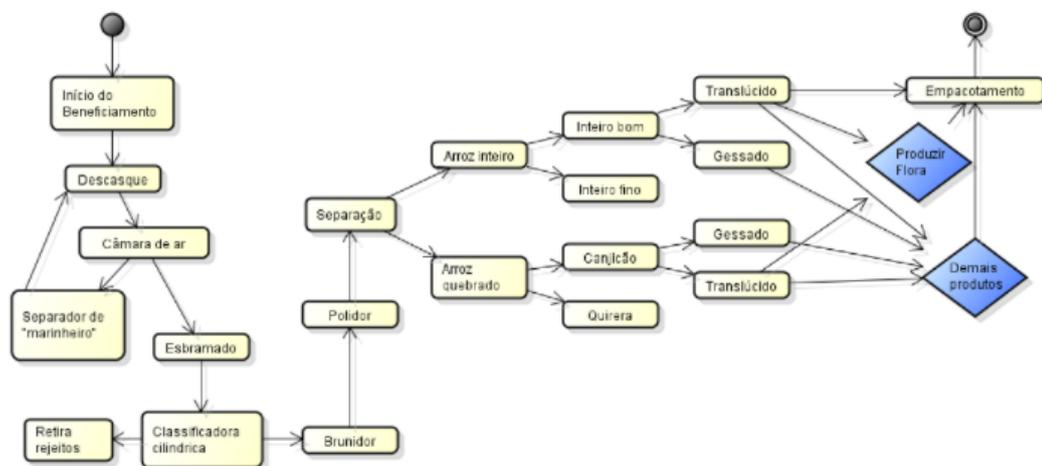
é feita em um conjunto de bandejas onde o arroz escorre nas bandejas que são movimentadas para frente e para trás e o arroz vai seguindo caminho diferente do arroz com casca. Os marinheiros retirados nesta etapa voltam para etapa anterior para retomar o descasque.

O arroz cuja casca foi retirada é chamado de esbramado também chamado de integral, segue para classificadora cilíndrica que por diferença de tamanhos, perfil, separa todos os grãos com maior espessura, normalmente arroz vermelho e eventuais grãos de soja ou trigo que eventualmente tenham sido descarregados juntamente com o arroz em casca.

Na próxima etapa o arroz passa pelo brunimento, que é um cilindro onde o arroz descascado é pressionado por anéis de borracha que são pressionados por uma superfície minimamente rugosa, que por abrasão remove a película externa do arroz extraíndo assim o farelo do grão. Esse equipamento é chamado de brunidor. Ao finalizar este processo o arroz continua com um residual de farelo remanescente no grão então é direcionado para a etapa de polimento do tipo *Water Polish* (polimento a água). Nesta etapa é onde o grão recebe uma aspersão de água que dá um brilho no produto e remove a aparência residual de farelo do brunidor.

A partir desse momento será feita a separação dos grãos entre inteiro e quebrado no equipamento chamado “trieur”, que é um cilindro preenchido internamente por alvéolos onde os grãos quebrados entram e ficam presos em seus interiores. Este cilindro gira e em determinada altura os grãos no interior dos alvéolos caem por gravidade dentro de um recipiente interno e são retirados do processo para outra etapa. Feita a separação de inteiros e quebrados, os primeiros seguem para separadores cilíndricos onde será feita nova separação entre inteiro bom e inteiro fino. A diferença entre ambos é que o inteiro fino se trata de um grão mal formado, cujo ciclo de crescimento não

Figura 4.2 – Processo de beneficiamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

atingiu sua etapa final, enquanto o grão de arroz inteiro bom tem largura, espessura e comprimento de acordo com um grão totalmente formado. No caso de arroz quebrado é feita separação da quirera e dos grãos maiores, como meio grão por exemplo ou três quartos de grão. Para o processo de separação de inteiro, quebrado e quirera, há uma regulamentação no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) que define a quantidade permitida na embalagem bem como as especificações para definir a partir de que tamanho o arroz se enquadra como grão inteiro, quebrado ou quirera.

Após a separação de inteiro e quebrado nos Trieurs, o produto então é direcionado para as máquinas eletrônicas onde é feita a separação dos grãos conforme os defeitos de cor, como por exemplo, amarelo e gessado. Os defeitos de gesso estabelecidos pelo MAPA na Instrução Normativa (IN) nº 6, são diferentes dos defeitos de gesso considerados pelos engenhos onde há a separação em níveis de percentual de gessado, conforme artigo 2, na normativa, contendo suas especificações.

A parte do processo produtivo que trata da seleção eletrônica dos grãos para separação dos defeitos pode variar de engenho para engenho, conforme o padrão de arroz que comercializa. As máquinas de seleção neste processo podem ser reguladas para ser mais ou menos rigorosas no que diz respeito rejeição dos defeitos.

Nesse processo de seleção, o arroz desce canaletas um atrás do outro e, através de um sensor óptico, o arroz com defeito de coloração (teor de gesso, amarelo, rajado, entre outros) é identificado e em seguida este grão é expelido por um jato de ar comprimido, que o direciona para etapa diferente dos grãos translúcidos. Este processo é complexo e a sensibilidade dos equipamentos óticos pode ser calibrada de acordo com o interesse de classificação de cada engenho. O equipamento pode ser mais sensível na identificação e selecionamento dos defeitos do grão, podendo deixar passar mais defeitos ou não. O equipamento, no entanto, não tem precisão que permita a rejeição exclusiva dos grãos com defeito, fazendo com que eventualmente sejam descartados outros grãos bons simultaneamente. Desta forma a retirada de um grão com defeito pode levar de forma indesejada outros grãos bons juntos, sendo necessário que este produto descartado seja destinado para outro equipamento de seleção para fazer nova classificação. O objetivo da reclassificação é um melhor reaproveitamento dos grãos translúcidos que foram indesejadamente descartados juntamente com os grãos com defeito. O mesmo processo é feito no arroz quebrado separando quebrado translucido e quebrado com defeito de gesso. Nesta etapa, se o produto que está sendo beneficiado apresenta muito defeito, as máquinas podem ficar sobrecarregadas e podem haver um excesso de descarte ou repasse de produto. Quanto maior os defeitos do arroz, maior o desgaste do equipamento bem como o custo de reprocessamento, além de perdas nos rejeitos do processo.

Os arranjos físicos dos engenhos, no que diz respeito a quantidade de máquinas de seleção

eletrônicas, e circuitos de classificação que percorrem, diferem de engenho para engenho, mas certamente seus processos contam com mais de um processo de seleção eletrônica para fazer a seleção adequada dos produtos. Esta etapa do processo também é bastante crítica porque os defeitos descartados no processo de beneficiamento precisam ser direcionados para formulação e combinação de diferentes produtos.

O *layout* das máquinas de seleção do engenho estudado é composto por um conjunto de 12 máquinas de seleção eletrônicas distribuídas em um circuito de passe e repasse de produto, canalizando o produto selecionado para as caixas de armazenagem de cada item para em seguida ser misturado conforme padrão estabelecido pela indústria para posteriormente ser empacotado.

Após separação dos produtos nas classificadoras eletrônicas, inicia-se a mistura e dosagem para fazer os diversos produtos de acordo com a formulação tipo 1, tipo 4 e FT onde serão empacotados e enfardados em fardos de 30 quilos sendo 6 pacotes de 5 kg ou então 30 pacotes de 1 kg. A mistura para fabricação do produto final é determinada de acordo com o percentual de tipos grãos, no caso percentual de translúcidos, quebrados, gessados, entre outros. Cada indústria tem sua receita para fazer seus diferentes produtos, desde o *premium* com qualidade nobre diferenciada e poucos defeitos até o mais convencional estabelecido obedecendo o limite de defeitos estabelecido pelo MAPA, conforme o tipo nos anexos de qualificação de produto. Os percentuais com os diferentes tipos de grãos não são totalmente uniformes no processo de beneficiamento, seleção e empacotamento, isto porque as máquinas não possuem precisão cirúrgica e depende muito da qualidade do grão na entrada do beneficiamento e nas eletrônicas. Assim há um intervalo de aceitação para os percentuais determinados, ou seja, se estabelece 90% de translúcido para empacotamento de determinada marca, por exemplo, mas é admitido uma amplitude de 2 a 5% para mais ou para menos. Nas caixas onde estão separados os produtos de acordo com os defeitos ainda há um percentual residual de arroz sem defeito e que foi descartado indevidamente na seleção, pois a máquina mesmo nos repasses não consegue eliminar exclusivamente o produto com defeito. Desta forma, é necessário verificar, na dosagem final, o percentual de grãos conformes incluídos nos defeituosos.

Como a escala de produção é muito grande e dinâmica, o processo precisa de um acompanhamento contínuo e com verificações em diversas etapas diferentes para observar se o nível de qualidade está sendo atingido.

O processo de beneficiamento trata-se numa primeira etapa na separação dos grãos conforme tamanho e defeitos e num segundo momento na junção dos diferentes ingredientes formulando o produto final, arroz beneficiado empacotado pronto para consumo de acordo com as especificações formuladas para cada tipo de produto.

Considerando que a combinação de recursos disponíveis na aquisição e no processo de be-

beneficiamento pode representar diferentes formatações de resultados, é importante avaliar as diversas oportunidades de formulação e opções de acordo com preço de venda e demanda de produto acabado para se atingir o melhor resultado, otimizando os recursos. Não se trata somente de fazer um planejamento e controle da produção, pois além de avaliar o abastecimento e convergir com a demanda, é necessário conciliar e avaliar a qualidade do produto na entrada e na saída, pois ambos alteram a função do resultado. Obviamente o resultado operacional da indústria de arroz está relacionada a seus custos e a formação de preço. Os custos podem ser separados e avaliados de forma distinta e baseado em diferentes métodos de custeio.

#### **4.1 Custeio e formação do preço de venda dos produtos**

A formação do preço de venda do arroz beneficiado não é uma fórmula padrão para todas as indústrias, não só pela estrutura de custos que difere de uma para outra, mas principalmente pelas particularidades dos processos de cada indústria e pela sistematização diferenciada de custeio da matéria prima, no caso o arroz em casca. O conceito tradicional da formatação de preço de venda é resultado do custo direto da mercadoria, adicionado as despesas variáveis, custos fixos, impostos e margem de lucro. Para indústria do arroz o conceito é o mesmo; porém a maior diferença está na identificação e apropriação devida dos custos do estoque do arroz em casca e demais despesas.

A contabilidade utiliza-se de variados métodos de custeio, que se baseiam em um grupo de ferramentas e técnicas que ajustam e executam o custeamento de serviços/produtos (SCHULTZ; SILVA; BORGERT, 2008).

Os métodos mais utilizados para custeio são o método de custeio variável, o método de custeio por absorção e o método ABC (do inglês *Activity Based Costing*), baseado em atividades. Certamente cada um deles apresenta suas particularidades e de acordo com o entendimento da empresa pode ser melhor aplicado diferentes métodos conforme o modelo de negócio e as particularidades de cada empresa.

O método de custeio variável considera como custo de fabricação os custos variáveis diretos e indiretos. Os custos fixos nesse método são considerados como despesas, pois mesmo que não houvesse produção estes custos existiriam, como por exemplo o aluguel. Ainda que não seja aceito pela legislação fiscal no Brasil, trata-se de um ferramental importante para as atividades de gestão das empresas (EYERKAUFER; COSTA; FARIA, 2007).

O método de custeio por absorção considera todos os custos, diretos e indiretos, fixos ou variáveis e normalmente determina rateio de acordo com a produção de cada produto. Esta é, atualmente, a forma de custeio predominantemente utilizada no Brasil para valorização de estoques

(EYERKAUFER; COSTA; FARIA, 2007).

Já o custo ABC é uma metodologia com foco na racionalização de atividades ou processos onde cada uma dessas etapas gera ou consome recursos, sendo estes hierarquizados e tratados de acordo com a característica da atividade - custos unitários para atividades discretas, custos por lotes ou ainda custos para manutenção da capacidade produtiva (VICKY, 1991).

O método utilizado na empresa Marzari Alimentos trata-se de um misto dos métodos supracitados e foi adaptado para atender as particularidades e sazonalidades do negócio, portanto o formato aplicado foi estruturado separando estrutura de geração de despesas em 4 principais tópicos distintos, abaixo destacados:

- Custos e condições comerciais da compra do arroz em casca;
- Custos e demais despesas de beneficiamento;
- Custos relacionados a encargos e tributos;
- Custos e condições comerciais específicas.

No primeiro tópico relativo a custos e condições comerciais da compra do arroz em casca será detalhado a formação do preço, bem como as limitações para detalhamento desta informação. Isto porque os lotes adquiridos pela indústria não são uniformes e apresentam diferenciações em relação à varietal, aos rendimentos e a qualidade do grão. Além disso ao descarregar o produto, o arroz é armazenado junto com lotes de diferentes produtores e com diferentes qualidades. Considerando que o produto armazenado perde a identidade e não é mais possível identificar fisicamente a qualidade e origem do produto, pois ao entrar nos silos sofre misturas, seja pela própria movimentação do produto no silo nos ciclos de entrada e saída, seja por eventuais trans silagens para secagem ou simples transferência entre silos.

O beneficiamento por consequência não realiza consumo efetivamente de acordo com a compra, pois pode se estar sendo consumido produto que fora recentemente depositado nos silos e por ordem física está na parte superior dos silos. Esse descompasso é somente físico, pois fiscalmente está sendo consumido no beneficiamento somente o produto adquirido. Ocorre que, eventualmente pode estar se consumindo produto com qualidade diferente da que foi adquirida. Ao longo do período este estoque, no entanto, converge para uma curva normal e na média durante um período maior este padrão se equaliza. O processo produtivo do arroz é contínuo e a mescla de produto nos silos acontece naturalmente, por esse motivo o processo de precificação da matéria prima considera gerencialmente o valor dos saldos médios de compras feitas na semana como ponto de

partida para simulação da formatação de preço. A opção em trabalhar com custo gerencial semanal é para evitar oscilações de preço durante um longo período ou então trabalhar com preço de compra ou reposição, que pode representar um equívoco na comercialização.

Considerando que o insumo recebido no engenho contém, em média, 22% de casca e 9% de farelo, o rendimento do arroz é, em média, 68%. Portanto, a cada tonelada de arroz em casca recebida, apenas 680 quilos, em média, serão beneficiados. Este percentual entre inteiro e quebrado pode variar de acordo com a qualidade do grão e pode apresentar percentuais diferentes na amostra de recebimento e no momento do beneficiamento. Por esse motivo é importante fazer as medições no recebimento e na entrada do engenho para garantir que na média esta se realizando o que foi previsto no recebimento.

O conceito de formação de preço foi elaborado em planilha eletrônica e, a partir do preço da saca do arroz em casca se simula os custos adicionais que são incorporados numa amostra aleatória de 100 sacos de arroz em casca. Ao incorporar os custos relativos a Funrural, Senar e C.D.O (Cooperação e Defesa da Orizicultura) é possível saber qual o real custo final do produto. Sabendo-se o custo total do arroz em casca, é possível determinar de acordo com a classificação média da qualidade do produto recebido, quais as especificações de qualidade do produto que se revelará no momento do beneficiamento. Obviamente, tais especificações, referentes a qualidade, sofrerão alterações constantemente, pois o estoque não é estático e, conseqüentemente, vai gerar modificações no cenário. Por este motivo as análises de amostras devem ser dinâmicas e representar médias móveis para estar sempre mais perto da realidade. A Tabela 4.1 apresenta uma simulação de composição de preço do arroz em casca, considerando uma carga de 100 sacas de 50 kg, cujo custo unitário foi definido como R\$90,00.

Tabela 4.1 – Formação de preço do arroz em casca (simulação para carga contendo 100 sacas.)

<b>Componente de custo</b>	<b>Unitário</b>	<b>Total</b>
Custo de aquisição por saca	R\$90,00	R\$9000,00
Funrural(1,5%)	R\$1,32	R\$135,00
C.D.O	R\$0,70/saca	R\$70
<b>Total:</b>		<b>R\$9205,00</b>

Fonte: (CONAB, 2020).

Na Tabela 4.1, o valor de R\$90,00 representa o custo médio de aquisição dos insumos comprados na semana anterior, ponderado com a média estocástica histórica que considera movimentos de compra e venda e atualiza saldos. Com base em 100 sacas de 50 kg, a taxa referente ao Funrural, 1,5% do valor do preço da saca do arroz em casca, totaliza R\$135,00. A taxa C.D.O, que foi definida para este exemplo em R\$0,70/saca, mas que sofre alterações anuais de acordo com definições

do IRGA, acrescentou R\$70,00 no custo total do insumo, que totalizou R\$9.205,00.

Com o custo do arroz em casca definido, a próxima etapa é determinar o custo discretizado para cada ingrediente presente no insumo (grão inteiro, grão quebrado, quirera e farelo) para que seja possível formular preço de venda com base na formulação de cada tipo de produto. Com base nos históricos e nos testes realizados na produção, é possível determinar os percentuais de rendimentos de cada subproduto e com em seus preços de venda, determinar o valor do grão inteiro. Se estabeleceu para efeito de cálculo de formação de preço o rendimento de 58% de grão inteiro, considerado insumo nobre. Os demais componentes são classificados como subprodutos, e são encontrados com proporções médias de: 10% de quebrado (que é a soma do total de canjicão, 7% em média, e de grãos quirera, 3% em média) e 9% de farelo. Os componentes da classe dos subprodutos possuem preço de venda definido, sendo R\$1,32/kg de farelo e R\$1,49/kg de grãos quebrados (tanto canjicão quanto quirera).

Desse modo, na simulação, as 5 toneladas de arroz em casca adquiridas contém 2.900 kg de arroz inteiro (58%), 350 kg de canjicão de arroz (7%), 150 kg de grãos quebrados (3%) e 450 kg de farelo (9%). Considerando no valor de venda de cada subproduto é possível quantificar a composição do preço do arroz em relação ao custo. A Tabela 4.2 apresenta o custo por kg de grão inteiro em função do preço de aquisição da carga do insumo e concentração média de cada ingrediente na carga.

Tabela 4.2 – Custo de aquisição por kg de grão inteiro.

<b>Ingrediente</b>	<b>Concentração</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Custo total (R\$)</b>
Inteiro	58%	2900	2,71	7867,80
Canjicão	7%	350	1,49	521,50
Quirera	3%	150	1,49	223,50
Farelo	9%	450	1,32	592,20
<b>Total:</b>				<b>R\$9205,00</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme apresentado na Tabela 4.2, se o custo total de aquisição foi de R\$ 9.205,00, ao definirmos o valor de venda de cada subproduto, é possível identificar o valor do grão inteiro. Os preços dos subprodutos são atualizados semanalmente com base nas condições vigentes no mercado, por consequência o valor do grão inteiro pode sofrer alterações em função de mudanças no preço de cada item.

De posse dos dados citados anteriormente, é possível estabelecer o critério de precificação do produto acabado. O conceito parte do pressuposto da disponibilidade da quantidade e preço dos grãos inteiros e quebrados para compor o custo e considera o farelo e quirera como fator redutor de

custo para produção de determinado produto acabado.

Dando sequência na simulação, considerando que os 2.900 kg de inteiro e 350 kg de quebrados poderiam ser utilizados para produzir unicamente determinado tipo ou marca de produto, é possível determinar o custo do produto acabado. Para esta etapa, considerados fardos que contém 6 pacotes de arroz, cada um com peso de 5 kg, totalizando 30 kg por fardo. A Tabela 4.3 precifica dois produtos, P1 e P2, com formulações hipótéticas (P1 com 95% de inteiro translúcido e 5% de canjição, e P2 com 73% de inteiro, 7% de canjição e 20% de inteiro barriguinha e barriga).

Tabela 4.3 – Custo de aquisição por kg de grão inteiro.

<b>Ingrediente</b>	<b>Custo por kg</b>	<b>Concentração P1</b>	<b>Custo fardo P1</b>	<b>Concentração P2</b>	<b>Custo fardo P2</b>
Inteiro translúcido	R\$2,71	95%	R\$77,32	73%	R\$59,41
Canjição	R\$1,49	5%	R\$2,24	7%	R\$3,13
Barriguinha e barriga	R\$2,14	-	-	20%	R\$12,83
<b>Total do fardo:</b>			R\$80,75		R\$75,38

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando a formulação do produto acabado contém itens que não foram elencados no detalhamento dos subprodutos na simulação da compra, tais como como defeitos de gesso nos seus diferentes percentuais, os valores referentes a estes itens são considerados a partir de uma planilha complementar atualizada semanalmente. O conceito na forma do cálculo é a mesma adotada anteriormente onde se multiplica o percentual do item por 30 e pelo valor do item. Para o produto premium se adiciona o percentual de 1,5% em relação ao preço total para complementar a diferença no custo de aquisição, visto não ter sido considerado o percentual dos defeitos na classificação.

Com o valor da matéria prima definida para o valor de venda do fardo, a próxima etapa é definir os componentes de custos adicionais, no caso os custos e demais despesas de beneficiamento. Está inserido nesse item, como fator redutor de custo, o valor referente a venda do farelo e quirera, bem como todas as despesas de classificação, custos de embalagem e o Custo por Fardo, conforme exemplificado na Tabela 4.4.

O Custo por fardo, exemplificado na Tabela 4.4, agrega todos os custos ou despesas que não estejam elencados em alguma etapa desta precificação e que estejam detalhados no plano de contas da empresa, tais como energia elétrica, recursos humanos entre outras. Para se determinar o custo por fardo é feita somatória destas despesas realizadas no período de 12 meses e é feito um rateio pela quantidade de fardos vendidos no mesmo período, para que se tenha o custo médio por fardo do período. Como há muita sazonalidade nos custos operacionais por conta de uma maior movimentação na safra estas despesas são rateadas pelo volume, sempre entrando um mês recente e saindo outro mais antigo.

Por fim, são adicionados ao custo do fardo despesas complementares de beneficiamento.

Tabela 4.4 – Custo por fardo.

<b>Fator de custo</b>	<b>Acumulado (12 meses)</b>	<b>Média mensal</b>	<b>%</b>
Compras	R\$197.776,08	R\$16.481,34	1%
Vendas	R\$141.841,26	R\$11.820,11	1%
Fretes e combustível	R\$909.285,10	R\$75.773,76	6%
TI	R\$192.577,47	R\$16.048,12	1%
Manutenção frota	R\$855.128,02	R\$71.260,67	6%
Materiais de consumo	R\$60.776,51	R\$5.064,71	<1%
Manutenção	R\$1.965.004,32	R\$163.750,36	14%
Administrativo	R\$244.2327,34	R\$203.527,28	17%
Despesas gerais	R\$1.428.632,88	R\$119.052,74	10%
Bonificações	R\$90.867,36	R\$7.572,28	1%
Despesas financeiras	R\$1.557.600,55	R\$129.800,05	11%
Despesas com pessoal	R\$4.011.146,41	R\$334.262,20	28%
Despesas tributárias	R\$115.581,78	R\$9.631,82	1%
Despesas diversas	R\$240.000,00	R\$20.000,00	2%
Despesas complementares	R\$244.413,96	R\$20.367,83	2%
<b>Total das despesas</b>	<b>R\$14.452.959,04</b>	<b>R\$1.204.413,25</b>	
Receitas com serviços	R\$2.332.168,27	R\$194.347,36	85%
Receita complementares	R\$415.911,41	R\$34.279,28	15%
<b>Total de receitas</b>	<b>R\$2.748.079,68</b>	<b>R\$229.006,64</b>	<b>100%</b>
Subtotal (Despesas - receitas)	R\$11.704.879,36	R\$975.406,61	
Nº de fardos vendidos (12 meses)	1520266	126689	
<b>Custo por fardo</b>	<b>R\$7,70</b>	<b>R\$7,70</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

São elas: embalagem (pacote e fardo) e distribuição. Desse total, é subtraído o valor recolhido da venda de farelo e quirera, chamado fator redutor de custo. Esta etapa do custeio estabelece, portanto, o custo do fardo e das despesas de beneficiamento, Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Custo com despesas de beneficiamento.

<b>Item</b>	<b>Custo P1</b>	<b>Custo P2</b>
Custo insumo	R\$80,75	R\$75,38
Custo por fardo	R\$7,70	R\$7,70
Classificação Emater	R\$0,04	R\$0,04
Pacote	R\$2,44	R\$2,44
Fardo	R\$0,59	R\$0,59
Distribuição	R\$8,93	R\$8,93
Redutor de custo	-R\$6,18	-R\$6,18
<b>Custo com despesas de beneficiamento</b>	<b>R\$94,28</b>	<b>R\$88,90</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

A soma das despesas complementares é dividida pelo número de fardos produzidos no período. Assim, é obtido o valor do custo com despesas de beneficiamento. Seguindo o exemplo dos produtos P1 e P2, a Tabela 4.5 apresenta o custo com despesas de beneficiamento.

Com a conclusão do custeio do produto, é definido preço de venda do produto. O preço de venda considera impostos e tributos sobre a produção e comercialização dos produtos, margem de contribuição desejada e encargos financeiros. A Tabela 4.6 apresenta o preço de venda dos produtos P1 e P2, considerando margem de contribuição de 5%.

Tabela 4.6 – Custo com despesas de beneficiamento.

<b>Item</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>
ICMS	7%	7%
PIS/COFINS	-	-
Comissão	2,5%	1,2%
Margem	5%	5%
Financeiro	1,2%	1,2%
<b>Valor do preço de venda</b>	<b>R\$111,84</b>	<b>R\$104,84</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

As etapas descritas anteriormente possibilitam à formatação de preço racionalizar os custos de forma a tornar aderente a tabela de preço de venda às condições operacionais, contábeis e fiscais, transcrevendo em valores os custos incorridos em todas etapas da geração de valor, desde o recebimento da matéria prima até a entrega e reposição do produto na gondola.

Certamente este processo de formatação de preço vem sofrendo aperfeiçoamento, pois é necessário espelhar nos detalhes os custos e as mudanças que o setor tem passado, principalmente no que diz respeito a qualidade do produto. De fato, estas mudanças tendem a promover mudanças na indústria de arroz no que diz respeito a formação de preço e devem impulsionar melhorias no processo de produção, dado que oscilações de qualidade do insumo costumam impedir o alto rendimento dos engenhos.

Concluída a etapa de caracterização do processo de beneficiamento e elaboração do preço de venda dos fardos, foi proposto um modelo matemático para realizar um estudo de caso, cujo objetivo é realizar um comparativo entre dois planos de produção realizados recentemente na empresa com planos obtidos via resolução do modelo matemático proposto, utilizando dados de entrada reais do período analisado.

## **5 MODELO PROPOSTO PARA O PROBLEMA INTEGRADO DE COMPRA E MIX DE PRODUÇÃO**

Este capítulo trata da elaboração do modelo integrado para compra e beneficiamento de cereais. A construção do modelo matemático proposto para o problema integrado de compra e beneficiamento de cereais transcorreu sequencialmente a partir de um modelo simplificado de mix de produção; posteriormente, foram adicionados parâmetros, variáveis e restrições para que os aspectos relacionados a aquisição de insumos fossem levados em conta.

A adição de variáveis e restrições relacionadas à compra, introduzida no segundo modelo elaborado, foi importante, pois o tornou mais aderente com a realidade na empresa. Outro fator que foi motivo de revisão foi a restrição que foi adicionada neste modelo que estabelece que o total a ser produzido de cada produto deve ser igual a quantidade de pedidos em carteira para cada produto. Esta restrição foi desconsiderada nos modelos seguintes pois se tratava de um equívoco de interpretação do contexto, pois estabelecer restrição aos pedidos em carteira significa limitar a produção e não otimizar os estoques nas formulações de produtos.

A construção da modelagem se desenvolveu com objetivo de espelhar a realidade do processo e identificar oportunidades no processo produtivo relacionados a formatação de mix de formulação, precificação ou ainda diversificação do portfólio de produção. Nesse sentido, os modelos sofreram alterações e passaram a ter maior nível de complexidade na representação dos processos, saindo do modelo mais simples para um modelo mais robusto e complexo com visão mais sistêmica. É importante lembrar que os modelos desenvolvidos são autocontidos, ou seja, ainda que certas notações e restrições sejam idênticas, elas serão reescritas toda vez que forem citadas.

### **5.1 Modelo 1: problema de mix de produção com estoque estático**

Inicialmente foi desenvolvido o Modelo 1, no qual não foi considerado o valor de aquisição do arroz em casca, tampouco qualidade e tamanho do lote do produto oferecido pelos diversos fornecedores.

O conceito do Modelo 1 foi desenvolvido a partir da disponibilidade de matéria prima, ou seja, partindo do pressuposto de que há disponível em estoque e considerando a formulação de mix de produtos e a relação de preço de venda de cada item que conjuguem o melhor resultado. A maximização do resultado se dá, neste modelo, pela produto entre a quantidade produzida de cada produto do mix e seu preço de venda.

Tal qual o modelo utilizado por Garba et al. (2020), o Modelo 1 fez uma representação

simples, ainda distante da realidade das rotinas da empresa. Isto porque as operações acontecem de forma dinâmica, quase como um sistema de produção contínuo. O Modelo empregou um conjunto de variáveis para representar os produtos do portfólio da empresa e restrições de capacidade, pedidos mínimos (demanda) e capacidade. Diferente dos modelos usualmente encontrados na literatura, o Modelo 1 empregou um conjunto de variáveis auxiliares para modelar as restrições de formulação de cada produto.

As hipóteses simplificadoras do modelo são:

- O estoque disponível encontra-se estático em um armazém e é totalmente utilizável;
- Todos os produtos produzidos são comercializados pela empresa, de modo que não são considerados aspectos relacionados à política de estoque;
- O preço de venda de cada produto é estático e, tal como está definido, sempre gera receitas para a empresa.

### Notação

$I$  : conjunto dos  $i$  produtos que compõe o mix da empresa.;

$L$  : conjunto dos  $l$  ingredientes necessários na formulação dos  $i$  produtos.;

$P_i$  : preço de venda de cada um dos  $i$  produtos;

$D_i$  : demanda de cada  $i$  produto;

$A_l$  : quantidade disponível para cada ingrediente  $l \in L$ ;

$M_{il}$  : quantidade mínima dos  $l$  ingredientes em cada um dos  $i$  produtos.

### Variáveis

$x_i$  : quantidade a ser produzida para cada um dos  $i$  produtos.

$y_{il}$  : quantidade de cada ingrediente  $j$  utilizada para a formulação de cada  $i$  produto.

### Modelo

$$\max R = \sum_{i \in I} C_i x_i \quad (5.1)$$

Sujeito à:

$$x_i \geq D_i \quad \forall i \in I \quad (5.2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} y_{il} \geq M_{il} x_i \quad \forall i \in I, \forall l \in L, \quad (5.3)$$

$$\sum_{i \in I} y_{il} \leq A_l \quad \forall l \in L \quad (5.4)$$

$$x_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (5.5)$$

$$y_{il} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall l \in L \quad (5.6)$$

A equação (5.1) representa a função objetivo de maximizar a receita com a venda dos produtos produzidos. A restrição (5.2) estabelece que o total a ser produzido de cada produto deve ser, pelo menos, igual à quantidade de pedidos em carteira para cada produto  $i$ . A restrição (5.3) assegura que o total de determinado ingrediente  $j$  utilizado em um produto  $i$  não seja menor que o valor mínimo definido pela legislação vigente para cada classe do produto. A restrição (5.4) limita a utilização dos ingredientes  $j$  de acordo com a disponibilidade do silo. As restrições (5.5) e (5.6) definem o domínio das variáveis de decisão.

Este modelo representa de forma simples um problema de otimização da quantidade dos diferentes produtos oferecidos de acordo com a disponibilidade de matéria prima e obedecendo o mix de formulação e os preços de venda praticados. No entanto, o modelo tem como premissa que o estoque disponível para produção é exatamente igual a quantidade de arroz em casca, determinando a quantidade de ingredientes disponíveis, o que na realidade não ocorre, uma vez que insumos ofertados por fornecedores diferentes tem composições diferentes e seria importante integrar a compra desses produtos como condicionante das formulações de produtos a serem comercializados. De forma simplificada este com estoque estático.

## 5.2 Modelo 2: problema integrado de compra e mix de produção

Dadas as limitações do Modelo 1, foi necessário pensar a sua reestruturação, racionalizando a problemática e adicionando novos elementos, variáveis e restrições. O aprimoramento do Modelo 1 foi desenvolvido, então, sob uma nova ótica, considerando as diversidades de fornecedores e a qualidade/quantidade do produto que cada produtor estaria apto a ofertar.

Nessas condições, foi possível obter certa previsibilidade para as alternativas para o planejamento da produção, estimulando o comprador a avaliar os diversos cenários na simulação de aquisição que possam resultar na melhor combinação de produto acabado. Vale ressaltar que o estoque de arroz em casca, neste caso, é considerado como um produto disponível no mesmo enquadramento do fornecedor. A diferença que este produto compõem o estoque próprio e obrigatoriamente deverá compor a distribuição das formulações. Este conceito foi elaborado partindo do pressuposto do modelo atual de precificação onde é feita toda decomposição dos subprodutos e seus respectivos custos para compor a fórmula de venda.

O Modelo 2 acrescentou parâmetros de diferentes fornecedores de grãos, e considerou aspectos relacionados a compra dos insumos necessários para a produção. Para tal, foi adicionada uma variável para manter o equilíbrio da oferta disponível de cada tipo de insumo. Além disso, foi adicionada uma restrição genérica de capacidade (no caso, o total comportado pelos silos da empresa no recebimento) e uma restrição para o orçamento total para aquisição, uma vez que o preço de cada kg ofertado pelos fornecedores e a fração de cada ingrediente presente na carga é diferente.

Além das hipóteses simplificadoras do Modelo 1, o Modelo 2 considera que:

- Os fornecedores oferecem uma carga de grãos que, após ter uma amostra analisada, é precificada de acordo com a fração de cada ingrediente presente nela;
- Não há restrição para o volume de compra de cada fornecedor: é possível comprar qualquer quantidade da carga ofertada por cada um deles.

### Notação

$I$  : conjunto dos  $i$  produtos que compõe o mix da empresa.;

$J$  : conjunto dos  $j$  fornecedores de insumos.;

$L$  : conjunto dos  $l$  ingredientes que compõe os insumos.;

$P_i$  : preço de venda de cada um dos  $i$  produtos;

$D_i$  : demanda de cada  $i$  produto;

$A_l$  : quantidade disponível para cada ingrediente  $l$  somando a oferta de todos os fornecedores,  $j \in J$ ;

$G_{jl}$  : quantidade disponível do ingrediente  $l$  a partir do fornecedor  $j$ ;

$C_{jl}$  : preço de aquisição de cada quilograma de ingrediente  $l$  de cada fornecedor  $j$ ;

$M_{il}$  : quantidade mínima do ingrediente  $l$  para produzir o produto  $i$ ;

$OT$  : orçamento total disponível para aquisição dos ingredientes para realizar o plano de produção;

$S$  : capacidade de armazenamento para os ingredientes;

$R$  : taxa de retorno esperada.

### Variáveis

$x_i$  : quantidade produzida de cada produto  $i$ ;

$y_{il}$  : quantidade do ingrediente  $l$  utilizada na formulação do produto  $i$ .

$z_{jl}$  : quantidade adquirida do ingrediente  $l$  a partir do fornecedor  $j$ .

**Modelo**

$$\max R = \sum_{i \in I} P_i x_i - \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} C_{jl} z_{jl} \quad (5.7)$$

Sujeito à:

$$x_i \geq D_i \quad \forall i \in I \quad (5.8)$$

$$y_{il} \geq M_{il} x_i \quad \forall i \in I, \forall l \in L \quad (5.9)$$

$$\sum_{i \in I} y_{il} \leq A_l \quad \forall l \in L \quad (5.10)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{l \in L} C_{jl} z_{jl} \leq OT \quad (5.11)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{l \in L} z_{jl} \leq S \quad (5.12)$$

$$\sum_{i \in I} P_i x_i \geq (1 + R) \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} C_{jl} z_{jl} \quad (5.13)$$

$$\sum_{l \in L} y_{il} = \sum_{j \in J} z_{jl} \quad \forall l \in L \quad (5.14)$$

$$z_{jl} \leq G_{jl} \quad \forall j \in J, \forall l \in L \quad (5.15)$$

$$x_i \geq 0 \text{ e inteiro} \quad \forall i \in I \quad (5.16)$$

$$z_{jl} \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall l \in L \quad (5.17)$$

A Equação (5.7) representa a função objetivo, que busca maximizar o lucro proveniente da diferença do preço de venda dos produtos e o custo de aquisição; a restrição (5.8) indica a quantidade mínima de cada produto que deve ser fabricada para atender, por exemplo, pedidos em carteira; a restrição (5.9) limita a utilização da matéria prima em função da quantidade disponível para a mesma; a restrição (5.10) obriga os produtos a usarem em sua composição as frações mínimas de matéria prima exigidas pela legislação; as restrições (5.11) e (5.12) limitam a aquisição da matéria prima ao orçamento disponível e a capacidade de armazenamento, respectivamente; a restrição (5.13) estabelece que a receita oriunda da venda dos produtos deve ser, pelo menos, maior que o custo de aquisição somado à taxa de retorno esperada; a restrição (5.14) assegura que a quantidade de matéria prima utilizada na fabricação dos produtos seja no máximo igual a oferta disponível entre todos os fornecedores; a restrição (5.15) indica o total disponível de cada matéria prima de cada fornecedor; as restrições (5.16 – 5.17) indicam o domínio das variáveis do modelo.

Com as restrições adicionadas, o Modelo 2 representou de maneira mais acurada a realidade dos processos de compra e programação de mix de produção da empresa. No entanto, duas questões subjacentes limitaram esta modelagem.

A primeira delas foi a permissão de aquisição parcial dos insumos, o que na prática não se aplica, pois a oferta do fornecedor considera o volume total da carga e não é usual limitar a aquisição, seja por qualidade ou por outra justificativa qualquer, exceto quando o lote possui um volume muito acima do que o engenho precisa beneficiar.

A segunda foi a possibilidade de simplificar a variável relacionada à compra de cada fornecedor e seu coeficiente de custo, uma vez que, embora seja possível atribuir um valor para cada ingrediente em função da qualidade da carga, não é possível comprá-los de maneira desagregada, logo a variável não precisa de dois índices.

Com isso, foi desenvolvido o Modelo 3, no qual a variável  $y$  tornou-se binária, coibindo a possibilidade de compra parcial da carga dos fornecedores, e foi considerado o custo total alocado na aquisição da carga de cada fornecedor, sem discretizar o preço por ingrediente presente ou por kg de material ofertado.

### 5.3 Modelo 3: problema integrado de compra e mix sem aquisição parcial de carga

No Modelo 3, a variável de decisão  $y$  está setada como binária. Com isso, a carga ofertada pelos fornecedores é adquirida na sua totalidade ou não adquirida. Desse modo, o custo associado à aquisição de cada kg de matéria-prima não é mais contabilizado. Ao invés disso, é atribuído o custo total de aquisição da carga a cada potencial fornecedor.

O Modelo 3 buscou a simplificação do problema de mix de produção e deu enfoque maior nas questões referentes a seleção de fornecedores.

#### Notação

$I$  : conjunto dos  $i$  produtos que compõe o mix da empresa.;

$J$  : conjunto dos  $j$  fornecedores dos insumos.;

$L$  : conjunto dos  $l$  ingredientes que compõe os insumos.;

$P_i$  : preço de venda de cada um dos  $i$  produtos;

$Q_{lj}$  : quantidade de cada ingrediente  $l$  ofertada por cada fornecedor,  $j$ , tal que  $j \in J$  e  $l \in L$ ;

$C_j$  : custo total de aquisição da carga ofertada pelos fornecedores  $j \in J$ ;

$S_{jl}$  : proporção dos ingredientes  $l \in L$  utilizados em cada um dos  $i$  produtos;

$OT$  : orçamento total disponível para aquisição dos ingredientes para realizar o plano de produção;

### Variáveis

$x_i$  : quantidade a ser produzida para cada um dos  $i$  produtos;

$y_j$  : 1 se é adquirida a carga total dos fornecedores  $f$ ; 0 caso contrário;

### Modelo

$$\max R = \sum_{i \in I} P_i x_i - \sum_{j \in J} C_j y_j \quad (5.18)$$

Sujeito à:

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} S_{jl} x_i \leq \sum_{f \in F} Q_{lj} y_j \quad \forall j \in J \quad (5.19)$$

$$\sum_{j \in J} C_j y_j \leq OT \quad (5.20)$$

$$x_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (5.21)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (5.22)$$

A Equação (5.18) representa a função objetivo de maximização do lucro proveniente da venda dos produtos; a Equação (5.19) enuncia que a proporção total dos  $j$  ingredientes utilizados para fazer todos os  $i$  produtos do mix ótimo seja no máximo igual ao total dos ingredientes  $j$  obtidos com a negociação dos  $f$  fornecedores selecionados; a Equação (5.20) limita a seleção de fornecedores para aquisição de insumos em função do orçamento disponível para esta atividade no período de planejamento; as Equações (5.21 - 5.22) limitam o domínio das variáveis de decisão.

Dado que restrições relacionadas a determinação de mix de produção são mais fáceis de tratar, algumas delas foram suprimidas do Modelo 3, como as restrições de demanda, de capacidade (gargalos em geral) e taxa mínima de retorno.

### 5.4 Modelo 4: problema integrado sem aquisição parcial de carga com formulação variável

O modelo definitivo para representação do problema de seleção e mix de produção flexibilizou a formulação dos produtos com base na legislação vigente, que estabelece apenas limites mínimos para a concentração de ingredientes nas diferentes classes de arroz.

Os limites mínimos e máximos estabelecidos foram condicionados dentro de uma faixa que não cause impressão negativa sobre o padrão de qualidade do produto. Foi elaborada uma grade com os limites de ingredientes e o modelo poderá fazer as combinações que permitam otimizar os

resultados do programa de produção realizado. O percentual de cada ingrediente na composição de cada produto foi discretizado com um passo de 1 unidade, 0, 1, 2, ..., 100(%). A condição de compra integral da carga dos fornecedores foi mantida e ainda assim é possível fazer diferentes simulações de aquisição de fornecedores, com diferentes preços e qualidades, resultando em diferentes combinações e resultados.

Este modelo além de mais dinâmico, permite flexibilizar a formulação dos produtos do mix e permite realizar pequenos ajustes na formulação que não prejudiquem a qualidade e permitam melhorar ainda mais o resultado.

### Notação

$I$  : conjunto dos  $i$  produtos que compõe o mix da empresa.;

$J$  : conjunto dos  $j$  fornecedores dos insumos.;

$L$  : conjunto dos  $l$  ingredientes que compõe os insumos.;

$K$  : índice para identificação dos percentuais de cada ingrediente.

$Q_j$  : quantidade total de insumo disponibilizada por cada fornecedor  $j \in J$ ;

$G_{jl}$  : proporção dos ingredientes  $l \in L$  presentes nos insumos ofertados pelos fornecedores  $j \in J$ ;

$P_i$  : preço de venda de cada um dos  $i$  produtos;

$C_j$  : custo total de aquisição da carga ofertada pelos fornecedores  $j \in J$ ;

$LI_{ilk}$  : fração mínima  $k$  de cada ingrediente na composição de cada produto, tal que  $i \in I$  e  $l \in L$ ;

$D_i$  : demanda de cada produto  $i \in I$ ;

$LS_{ilk}$  : fração máxima  $k$  de cada ingrediente na composição de cada produto, tal que  $i \in I$  e  $l \in L$ ;

$D_i$  : demanda de cada produto  $i \in I$ ;

$OT$  : orçamento total disponível para compra do insumo;

$M$  : número suficientemente grande.

### Variáveis

$x_i$  : quantidade a ser produzida para cada um dos  $i$  produtos, ;

$y_j$  : 1 se é adquirida a carga total dos fornecedores  $j$ ; 0 caso contrário;

$r_i$  : 1 se o produto  $i$  é produzido; 0 caso contrário;

$f_{ilkj}$  : percentual  $k$  do ingrediente  $l$  utilizado no produto  $i$  de origem  $j$ ;

$h_{ilk}$  : 1 se a proporção  $k$  do ingrediente  $l$  compõe o produto  $i$ ; 0 caso contrário;

$s_{jl}$  : total de sobra do ingrediente  $l$  do fornecedor  $j$ ;

### Modelo

$$\max R = \sum_{i \in I} P_i x_i - \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} C_j f_{ilkj} - \sum_{j \in J} ((C_j Q_j y_j) (1 - \sum_{l \in L} G_{jl})) \quad (5.23)$$

Sujeito à:

$$\sum_{l \in L} \sum_{\substack{k \in K: \\ LI_{ilk} \leq k \leq LS_{ilk}}} \frac{k}{100} h_{ilk} = r_i \quad \forall i \in I \quad (5.24)$$

$$\sum_{\substack{k \in K: \\ k \geq LI_{ilk}}} h_{ilk} = r_i \quad \forall i \in I, \forall l \in L \quad (5.25)$$

$$x_i \leq M r_i \quad \forall i \in I \quad (5.26)$$

$$s_{jl} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} f_{ilkj} = G_{jl} Q_j y_j \quad \forall j \in J, \forall l \in L \quad (5.27)$$

$$\sum_{j \in J} f_{ilk} \geq \frac{k}{100} x_i - (1 - h_{ilk}) M \quad \forall i \in I, \forall l \in L, \forall k \in K \quad (5.28)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} f_{ilkj} = x_i \quad \forall i \in I \quad (5.29)$$

$$\sum_{j \in J} C_j Q_j y_j \leq OT \quad (5.30)$$

$$x_i \geq D_i r_i \quad \forall i \in I \quad (5.31)$$

$$x_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (5.32)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (5.33)$$

$$f_{ilkj} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall l \in L, \forall k \in K, \forall j \in J \quad (5.34)$$

$$h_{ilk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall l \in L, \forall k \in K \quad (5.35)$$

$$r_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (5.36)$$

$$s_{jl} \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall l \in L \quad (5.37)$$

$$(5.38)$$

A função objetivo, Equação (5.23), expressa a maximização do lucro operacional por meio da diferença entre a receita total de vendas do mix de produção e o custo de aquisição dos insumos, considerando eventuais sobras de ingredientes. As restrições (5.24) e (5.25) asseguram, respectivamente, que as concentrações mínima e máxima dos ingredientes estabelecidas para cada produto estejam presentes e que, caso um ingrediente tenha concentração mínima não-nula, ele componha

o produto. A restrição (5.26) assegura que uma determinada quantidade de um produto só será produzida se a empresa decidir produzir esse produto. A restrição (5.27) faz o balanço do total de insumo adquirido com o utilizado efetivamente para produção, mais possíveis sobras. A restrição (5.28) faz o balanço de determinado ingrediente utilizado na produção de determinado produto, tal que seja igual à fração determinada na formulação. A restrição (5.29) iguala o total produzido de determinado produto à soma dos ingredientes individualmente. A restrição (5.30) determina que o total de insumo adquirido seja compatível com o orçamento destinado para este fim. A restrição (5.31) determina produção mínima de cada produto. As restrições ((5.32) - (5.37)) determinam o domínio das variáveis do modelo.

Este modelo, portanto, foi considerado o mais aderente e em determinado aspecto até inovador por permitir ajustes na formulação, o que atualmente na empresa não se flexibiliza, pois se utiliza formulação padrão.

Após o desenvolvimento do modelo, foi realizado um estudo de caso, que comparou a produção da Marzari Alimentos para os meses de março e abril de 2021 com resultados da obtidos pelo Modelo 4. Os dados de entrada utilizados na resolução do modelo foram coletados do arquivo da empresa.

## 6 ESTUDO DE CASO

Com base nas informações levantadas na Marzari Alimentos no meses de março e abril de 2021, foi possível elaborar um comparativo entre desempenho atingido pela empresa e o resultado obtido por meio da resolução do modelo desenvolvido na Seção 5.4. Além de comparar os resultados do modelo com os obtidos pela Marzari Alimentos, foi possível comparar outros critérios relacionados ao estudo como, por exemplo, a quantidade de fardos faturados, os tipos diferentes de produtos, bem como as formulações de mix de produção realizadas.

O modelo matemático detalhado na Seção 5.4 foi utilizado para simular um plano de aquisição de insumos e produção, no qual uma instância contendo dados obtidos da própria empresa foi resolvida por meio do resolvidor de programação matemática CPLEX 12.9.0.0.1.

### 6.1 Descrição da instância

A instância possui um total de quatro produtos, os quais possuem formulação mínima estabelecida e preços de venda obtidos pelo método de precificação descrito no Capítulo 4, cinco fornecedores, cujos preços por kg e capacidade das cargas constavam nos arquivos da empresa, e os seis ingredientes contidos nas cargas de arroz em casca (Tabelas 6.1, 6.2 e 6.3).

Tabela 6.1 – Preço de venda e percentual mínimo de ingredientes dos produtos produzidos na Marzari Alimentos.)

Produto	PV março (/kg)	PV abril (/kg)	Min. Inteiro	Min. Barriga	Min. Gessado	Min. Canjição	Min. Canjição Fino	Min. Manchado
Flora	R\$3,35	R\$3,45	95%	-	-	2%	-	-
Fino Gosto T1	R\$3,12	R\$3,22	60%	15%	-	7%	-	-
Fino Gosto T4	R\$2,60	R\$2,70	40%	10%	10%	30%	-	-
Fino Gosto FT	R\$1,58	R\$1,68	3%	0%	51%	0%	30%	6%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os produtos mostrados na Tabela 6.1 foram descritos conforme seu nome comercial e ordenados pela fração mínima de grãos inteiros translúcidos mais alta. A coluna PV indica o preço de venda de cada kg de produto beneficiado no fardo. Os campos não-preenchidos indicam que o produto não deve conter o respectivo ingrediente a fim de manter seu padrão de qualidade (diferentemente dos produtos com fração mínima de 0% para algum ingrediente).

Os fornecedores representados na simulação foram selecionados a partir dos arquivos da empresa referentes aos meses de março e abril de 2021, e nomeados genericamente conforme as Tabelas 6.2 e 6.3, sendo que as frações de cada ingrediente presentes nas suas cargas são estimadas por meio de análise eletrônica de uma amostra retirada no momento do recebimento.

Por fim, foi preciso definir uma concentração máxima de cada ingrediente nos produtos,

Tabela 6.2 – Características dos insumos ofertados pelos fornecedores - março de 2021.

Fornecedor	Capacidade (ton)	Custo (/kg)	Inteiro	Barriga	Gessado	Canjição	Canjição Fino	Manchado
F1	2250	R\$1,60	54%	1%	4%	5%	4%	0%
F2	1500	R\$1,66	50%	2%	6%	6%	2%	0%
F3	750	R\$1,50	47%	10%	2%	7%	2%	1%
F4	1750	R\$1,62	45%	7%	2%	8%	1%	0%
F5	750	R\$1,58	44%	15%	1%	5%	1%	1%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6.3 – Características dos insumos ofertados pelos fornecedores - abril de 2021.

Fornecedor	Capacidade (ton)	Custo (/kg)	Inteiro	Barriga	Gessado	Canjição	Canjição Fino	Manchado
F1	2217	R\$1,68	55%	1%	4%	5%	4%	0%
F2	1478	R\$1,66	53%	4%	3%	6%	2%	0%
F3	1220	R\$1,62	49%	7%	2%	5%	2%	1%
F4	1700	R\$1,69	53%	8%	2%	4%	1%	1%
F5	750	R\$1,64	47%	12%	1%	5%	1%	1%

Fonte: Elaborado pelo autor.

haja vista que, ainda que não exista regulamentação sobre, o modelo matemático possui restrições que limitam a formulação em termos de ingredientes mais nobres, conforme Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Preço de venda e percentual máximo de ingredientes dos produtos produzidos na Marzari Alimentos.)

Produto	Max. Inteiro	Max. Barriga	Max. Gessado	Max. Canjição	Max. Canjição Fino	Max. Manchado
Flora	98%	-	-	5%	-	-
Fino Gosto T1	80%	25%	-	7%	-	-
Fino Gosto T4	50%	30%	30%	35%	-	-
Fino Gosto FT	6%	10%	80%	20%	35%	15%

Fonte: Elaborado pelo autor.

De posse de tais dados, o modelo foi executado no resolvidor citado anteriormente, utilizando configuração padrão. Os resultados obtidos foram comparados com programas de compra e produção realizados em março e abril de 2021.

## 6.2 Comparativo dos resultados do Modelo 4 com dados dos períodos analisados

Os dados obtidos nos meses de março e abril na Marzari Alimentos e os resultados gerados no Modelo 4 foram tabulados e comparados em diferentes etapas do processo além da função objetivo. Foram comparados resultados obtidos via resolução do modelo matemático descrito na Seção 5.4, sobretudo em relação as diferentes formulações dos produtos da empresa e ao faturamento obtido com a venda dos produtos.

### 6.2.1 Comparação entre os planos de produção real e simulado

Os programas de produção sugeridos pela simulação e realizados de fato pela empresa apresentaram diferenças significativas, tanto em quantidade de produtos produzidos quanto na compo-

sição dos mesmos. A Tabela 6.5 apresenta os resultados obtidos pela resolução do modelo e a produção efetivamente realizada nos períodos citados para cada produto, assim como os totais de grãos utilizados para produção e os percentuais de grãos inteiros utilizados nas formulações de cada produto.

Tabela 6.5 – Comparação entre os planos de produção sugerido na simulação e realizado em março de 2021.

<b>Produto</b>	<b>Prod. Modelo (kg)</b>	<b>Prod. Realizada</b>	<b>Dif. (%)</b>	<b>% Int. Modelo</b>	<b>% Int. Real</b>
Flora	2483455	2332680	+6%	54%	54%
Fino Gosto T1	1193071	1727070	-31%	26%	40%
Fino Gosto T4	642320	18180	+3500%	14%	0,4%
Fino Gosto FT	250000	269220	-7,2%	5%	6%
Sobra	73654	295350	-75%		
<b>Total</b>	<b>4642500</b>	<b>4642500</b>			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados da simulação sugeriram melhor aproveitamento de todos os subprodutos, ingredientes utilizados na formulação. Por esse motivo a produção em quilos no mês de março foi maior no modelo, atingindo um total de 4.568.846 kg. No entanto, o percentual no Fino Gosto T1 (tipo 1 convencional) foi de 24% no modelo e de 40% atingido no mês de março na Marzari.

Ainda que a formulação seja flexibilizada, a condição de aquisição total da carga dos fornecedores ocasionou sobras de ingredientes (Tabela 6.6). Essas sobras, no entanto, são armazenadas e integram o plano de produção do período seguinte, cujos resultados são apresentados na Tabela 6.7.

Tabela 6.6 – Comparação entre saldos de estoque para março de 2021.

<b>Ingrediente</b>	<b>Saldo simulação (kg)</b>	<b>Saldo real (kg)</b>	<b>Diferença (kg)</b>
Inteiro	-	1.913	1.913
Barriga	-	126	126
Gessado	1.152	73.276	72.124
Canjição	-	61.189	61.189
Canjição fino	72.500	158.847	86.346
Manchado	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação a fração de cada ingrediente nos produtos, a Marzari trabalhou com uma formulação padrão de acordo com o tipo de produto. Entretanto, para o modelo, foi sugerido intervalo no qual a formulação seria flexibilizada. Na Tabela 6.8 estão sumarizados os resultados referentes a formulação obtidos pela simulação e a comparação com a formulação definida pela empresa como padrão.

De acordo com a Tabela 6.8 é possível verificar que, graças a flexibilização adicionada no

Tabela 6.7 – Comparação entre os planos de produção sugerido na simulação - abril de 2021.

<b>Produto</b>	<b>Prod. Modelo (kg)</b>	<b>Prod. Realizada</b>	<b>Dif. (%)</b>	<b>% Int. Modelo</b>	<b>% Int. Real</b>
Flora	2896363	2438520	+18%	59%	58%
Fino Gosto T1	1494068	1588650	-6%	30%	38%
Fino Gosto T4	191824	27990	+685%	4%	1%
Fino Gosto FT	333656	167040	+99%	7%	4%
Sobra	99909	739150	-75%		
<b>Total</b>	<b>4642500</b>	<b>4642500</b>			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6.8 – Comparação entre a formulação sugerida para os produtos e a formulação efetivamente utilizada.

Ingrediente	Flora		Fino Gosto T1		Fino Gosto T4		Fino Gosto FT	
	% Simulação	% Real	% Simulação	% Real	% Simulação	% Real	% Simulação	% Real
Inteiro	95	93	68	72	40	65	3	6
Barriga	-	-	25	21	10	-	-	-
Gessado	-	-	-	-	15	-	56	61
Canjicão	5	7	7	7	35	35	-	30
Canjicão fino	-	-	-	-	-	-	35	6
Manchado	-	-	-	-	-	-	6	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

modelo da Seção 5.4, a simulação sugeriu concentrações para os ingredientes que divergem das utilizadas pela empresa, sobretudo para os produtos de linhas mais baratas.

Os resultados obtidos na comparação do mês de abril também demonstraram melhores resultados obtidos através do modelo desenvolvido. O percentual no produto 1, com maior valor agregado continuo o maior entre todos os produtos, concentrando 58% atingido pela Marzari, enquanto no modelo representou 59%, totalizando 2,896.363 quilos. Houve também no modelo uma realocação menor no produto 2 e maior nos produtos 3 e 4 em relação ao que foi realizado na Marzari. A quantidade de produtos (em kg) sugerida pela simulação para o mix de produção foi 16,43% superior daquela efetivamente realizada, totalizando 4.915.911 kg, 693.711 kg a mais do que foi realizado pela Marzari Alimentos no período analisado.

## 6.2.2 Comparação do faturamento

Considerando que o foco comercial atualmente está desconectado do processo de compras em relação a qualidade dos ingredientes recebidos, as práticas comerciais na empresa são orientadas para venda de produtos com maior valor agregado, para assim se atingir o maior faturamento possível. A Tabela 6.9 apresenta os resultados obtidos na simulação, em termos de faturamento, com os resultados reais obtidos Pela Marzari Alimentos.

Em termos de faturamento por tipo de produto para o mês de março, observou-se uma

Tabela 6.9 – Comparação entre o faturamento obtido pela simulação e faturamento real - março de 2021.

<b>Produto</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Faturamento modelo</b>	<b>Faturamento Real</b>	<b>Diferença (%)</b>
Flora	R\$3,35	R\$8.319.574,00	R\$7.814.478,00	+6%
Fino Gosto T1	R\$3,12	R\$3.722.382,00	R\$5.388.458,40	-31%
Fino Gosto T4	R\$2,60	R\$1.670.032,00	R\$47.268,0	+3500%
Fino Gosto FT	R\$2,30	R\$575.000,00	R\$619.206,00	-7,2%

Fonte: Elaborado pelo autor.

distribuição diferente entre o que modelo apresentou e o que de fato foi faturado. O percentual entre o produto premium, com maior valor agregado, foi exatamente o mesmo. A simulação obteve maior faturamento no Fino Gosto T4 (tipo 4), pois utilizou formulação diferente da que foi realizada pela empresa. Para o mês de abril, foi observado padrão similar no faturamento por tipo de produto, conforme mostra a Tabela 6.10.

Tabela 6.10 – Comparação entre o faturamento obtido pela simulação e faturamento real - abril de 2021.

<b>Produto</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Faturamento modelo</b>	<b>Faturamento Real</b>	<b>Diferença (%)</b>
Flora	R\$3,45	R\$9.992.453,00	R\$8.412.894,00	+18%
Fino Gosto T1	R\$3,22	R\$4.810.899,00	R\$5.115.453,00	-6%
Fino Gosto T4	R\$2,70	R\$517.925,00	R\$75.573,00	+685%
Fino Gosto FT	R\$2,40	R\$800.774,00	R\$400.896,00	+99%

Fonte: Elaborado pelo autor.

No total de faturamento o modelo foi 15,12% maior do que o valor identificado no mês de abril da Marzari, totalizando R\$ 2.117.235,64. O percentual de faturamento foi relativamente menor do que o percentual de quantidade de quilos de arroz, pois a distribuição do faturamento no modelo alocou uma quantidade maior nos produtos de baixo valor agregado, no caso os produtos 3 e 4, que tiveram um consumo de mais de 160 mil quilos em cada um dos 2 itens em relação a Marzari.

O resultado na função objetivo por consequência foi maior no modelo, atingindo R\$ 4.033.420,79, enquanto na Marzari foi atingido o valor de R\$ 3.064.301,71, um valor de R\$969.119,08 a mais no modelo, obtendo um desempenho 31,63% superior.

Após a comparação entre os dados de produção reais e os obtidos via simulação, o Capítulo seguinte sumariza as contribuições obtidas neste trabalho e direcionamentos para sequência da pesquisa.

## 7 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA A CONTINUIDADE DA PESQUISA

Os resultados obtidos por meio da simulação realizada com a resolução do Modelo desenvolvido no trabalho é extremamente significativo e sugere avaliar uma mudança do paradigma tradicional de direcionar o faturamento somente para os itens de mais valor agregado. O resultado obtido pela resolução do Modelo 4 mostrou resultado não só alterando o mix de produtos produzidos, mas permitiu uma flexibilização das formulações dos ingredientes. Outro fator importante que deve ser levado em consideração é o fato da modelagem sugerir um melhor aproveitamento dos subprodutos na medida que deixa a menor quantidade possível em estoque. Nos dois meses analisados percebeu-se que a quantidade de subprodutos, especialmente os grãos gessados, canjição e canjição fino, ficaram com saldos significativos no estoque da empresa. Além de representar um valor disponível em estoque, pode representar um maior custo operacional na medida em que transita mercadoria para os bags e depois precisa ser novamente manuseada.

É necessário considerar, no entanto, que é necessário identificar duas situações, que podem ser restritivas para realizar o que o modelo está sugerindo. A primeira delas, é a questão de capacidade operacional, que eventualmente o modelo pode sugerir que seja produzido determinado volume que seja superior à capacidade do engenho. Em nenhum dos meses avaliados o modelo sugeriu volume que o engenho não tivesse capacidade de produzir no mês. De toda forma é possível ajustar o modelo para que a quantidade limite de produção seja limitada a capacidade nominal do engenho, no caso 175 mil fardos.

Outra situação relevante e que precisa ser levada em consideração é o valor de venda do produto, cuja preço não permitiria aumento do volume. Neste caso seria necessário realizar algumas concessões em determinados tipos de produtos para viabilizar um aumento de volume. Mesmo assim o modelo permite que sejam avaliados cenários com preços diferentes para identificar mudanças no faturamento e resultado.

A simulação realizada por meio da resolução do Modelo 4 mostrou-se capaz de aprimorar, com abordagem integrada, o processo de aquisição, formulação e venda de produtos, fazendo com que o gestor tenha uma ferramenta que permita analisar, planejar e executar seu planejamento e controle da produção e vendas com diversas formulações e estratégias diferentes.

Apesar de o Modelo 4 demonstrar de forma eficiente todas as formulações, consumo, resultado entre outras variáveis, seria interessante avaliar, num próximo estudo, o item referente ao valor do ingrediente remanescente em estoque. O custo deste estoque de passagem é importante não só para avaliar o resultado do modelo, mas também para identificar outros tipos de produtos que

poderão ser formulados. O aprofundamento no custo do estoque remanescente é necessário para valorizar de forma adequada os tipos de ingredientes que ficaram no estoque. No estudo de caso acima sobrou em estoque na movimentação da Marzari 793.150 kg de ingredientes cuja qualidade compõe a formulação de produto de baixo valor agregado. Esses mais de 793 mil kg representaram em valor um estoque de R\$ 1.316.629,00, com valor médio de aquisição de R\$ 1,66 por kg. Considerando que o estoque remanescente tem um percentual de defeitos maior, seria adequado reavaliar o custo deste estoque num estudo mais aprofundado que permita aperfeiçoamento na qualidade do resultado do modelo.

Por fim, é importante destacar o êxito do trabalho desenvolvido no sentido de aproximar a pesquisa acadêmica do meio industrial, possibilitando aplicação direta dos conhecimentos desenvolvidos em sistemas de produção reais.

## REFERÊNCIAS

- AWATASHI, A. et al. Supplier selection problem for a single manufacturing unit under stochastic demand. **International Journal of Production Economics**, [S.l.], v.117, p.229–233, 2009.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations and Production Management**, Bingley, v.22, p.241–264, 2002.
- BOOTAKI, B.; MAHDAVI, I.; PAYDAR, M. M. New criteria for configuration of cellular manufacturing considering product mix variation. **Computers & Industrial Engineering**, [S.l.], v.98, p.413–426, 2016.
- BURKE, G. J.; CARRILLO, J. E.; VAKHARIA, A. J. Single versus multiple supplier sourcing strategies. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v.182, p.95–112, 2007.
- CHANG, K. H. Risk-Controlled Product Mix Planning in Semiconductor Manufacturing Using Simulation Optimization. **IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing**, [S.l.], v.29, p.411–418, 2016.
- CHOUDHARY, D.; SHANKAR, R. A goal programming model for joint decision making of inventory lot-size, supplier selection and carrier selection. **Computers & Industrial Engineering**, [S.l.], v.71, p.1–9, 2014.
- CONAB. **Série histórica de safras**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=10>>. Acessado em: 08/01/2020.
- EYERKAUFER, M. L.; COSTA, A.; FARIA, A. C. de. Método de custeio por absorção e variável na ovinocultura de corte: estudo de caso em uma cabanha. **Organizações Rurais e Agroindustriais**, Lavras, v.9, p.202–215, 2007.
- FORGHANI, A.; SADJADI, S. J.; MONGHADAM, B. F. A supplier selection model in pharmaceutical supply chain using PCA, Z-TOPSIS and MILP: a case study. **PLOS Online**, [S.l.], v.13, 2018.
- GARBA, M. K. et al. On the Use of Linear Programming Model Approach in Profit Optimization of a Product Mix Company. **Islamic University Multidisciplinary Journal**, Ilorin, v.7, p.299–305, 2020.

GINTING, M.; KIRAWAN, M.; MARPAUNG, B. Product mix optimization on multi-constraint production planning-a Fuzzy Mixed Integer Linear Goal Programming (FMILGP) approach: a single case study. **MATEC Web of Conferences**, [S.l.], v.204, p.1–7, 2018.

ILOG, I. **CPLEX Optimization Studio**.

KOCH, T. **Rapid Mathematical Programming**. 2004. PhD Thesis — (Doutorado em Ciências). Technische Universität Berlin.

LI, Y.; XIE, Q. A method of Identifying Supply Chain Risk Factors. In: WRI WORLD CONGRESS ON SOFTWARE ENGINEERING, 2009., Xiamen. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2009. v.4, p.369–373.

MIGUEL, P. A. C. c. **Metodologia da Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

ONWUBOLU, G. C.; MUTINGI, M. Optimizing the multiple constrained resources product mix problem using genetic algorithms. **International Journal of Production Research**, Londres, v.39, p.1897–1910, 2001.

VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R. **Qualidade tecnológica**. 2.ed. [S.l.: s.n.], 2006. v.1, p.869–900.

ROCHE, J. **The international rice trade**. 1.ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 1993.

SCHULTZ, C. A.; SILVA, M. Z. da; BORGERT, A. É o Custeio por Absorção o único método aceito pela Contabilidade? **XV Congresso Brasileiro de Custos**, Curitiba, 2008.

SENYIGIT, E. Supplier selection and purchase problem for multi-echelon defective supply chain system with stochastic demand. **Neural Computing and Applications**, [S.l.], v.22, p.403–415, 2013.

SMIDERLE, O. J.; DIAS, C. T. S. Época de colheita e qualidade fisiológica de sementes de arroz irrigado (*Oryza sativa* cv. BRS Roraima). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.38, p.188–194, 2008.

STRECK, E. A. **Contribuição Genética do Melhoramento de Arroz Irrigado de Terras Baixas no Rio Grande do Sul**. 2017. Tese — (Doutorado em Ciências). Universidade Federal de Pelotas.

VICKY, H. Profit priorities from Activity-Based Costing. **Harvard Business Review**, [S.l.], p.130–135, 1991.