

# OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS PRODUTIVOS DA SEÇÃO DE LATICÍNIOS DA FAZENDA DE AERONÁUTICA DE PIRASSUNUNGA: ANÁLISE SOB A PERSPECTIVA DA PROGRAMAÇÃO LINEAR<sup>1</sup>

## *OPTIMIZATION OF PRODUCTION COSTS IN THE DAIRY SECTION OF THE PIRASSUNUNGA AERONAUTICS FARM: AN ANALYSIS FROM THE PERSPECTIVE OF LINEAR PROGRAMMING*

Carolina Silva Baptista Santos<sup>2</sup>  
Marcus Vinícius de Araújo Lima<sup>3</sup>  
Ludmila Bombarda Dias<sup>4</sup>

### RESUMO

A Fazenda de Aeronáutica de Pirassununga (FAYS) é uma Organização Militar com a missão de ocupar produtivamente o território que sedia a Guarnição de Aeronáutica de Pirassununga e, assim, produzir e distribuir os gêneros oriundos de sua produção. Nesse contexto, a Seção de Laticínios (SLAT) da FAYS é responsável por produzir e distribuir laticínios como leite tipo A pasteurizado, iogurtes e doce de leite. Tal fabricação é realizada pelo modelo de produção conjunta, o qual, a partir de uma matéria-prima e insumos em comum, uma variedade de produtos é gerada, com o fluxo de fabricação comum até certo ponto. Para garantir maior economicidade aos procedimentos desta seção, é necessária a busca constante por maior efetividade dentro do complexo produtivo, de acordo com as diretrizes econômicas do Comando da Aeronáutica (COMAER). Atualmente, a produção da SLAT é baseada em práticas operacionais consolidadas, mas sem uma ferramenta de programação que leve em conta as múltiplas variáveis, restrições e objetivos e busque a otimização de recursos limitados. Tal ponto justifica a aplicação da Pesquisa Operacional (PO) como uma ferramenta de grande auxílio à tomada de decisões, pois procura otimizar o uso de recursos por meio da modelagem matemática do processo produtivo. Este trabalho de conclusão de curso apresenta, por meio de pesquisa quantitativa, a aplicação da Programação Linear (PL), técnica pertencente à área de PO, no modelo clássico de programação da produção conjunta, com o objetivo de analisar a formulação de um mix de produção ótimo para a SLAT. Para tanto, é necessário identificar as variáveis e restrições que influenciam no processo produtivo, e desse modo, formular um modelo matemático de programação linear que represente a produção de um mix de laticínios capaz de definir a quantidade ótima, do ponto de vista econômico, de cada tipo de insumo produzido pela seção, contribuindo para atender às demandas concernentes à missão da FAYS e ao princípio da economicidade.

**Palavras-chave:** Produção; laticínios; custos; programação linear.

---

<sup>1</sup> Artigo de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Formação de Oficiais Intendentes (CFOInt) da Academia da Força Aérea (AFA).

<sup>2</sup> Cadete Intendente do 4º Esquadrão (Turma *Ártemis*, 2025).

<sup>3</sup> Bacharelado em Matemática Pura, Mestrado e Doutorado em Matemática pela Universidade Federal de São Carlos. Professor Associado da Academia da Força Aérea. E-mail: [marcusmval@fab.mil.br](mailto:marcusmval@fab.mil.br).

<sup>4</sup> 2º Ten QOCON Nut Bombarda, Especialização em Gestão da Qualidade e Controle Higiênico sanitário de Alimentos pela Universidade Federal de Lavras. E-mail: [bombardalbd@fab.mil.br](mailto:bombardalbd@fab.mil.br).

## ABSTRACT

The Pirassununga Aeronautics Farm (FAYS) is a Military Organization whose mission is to productively occupy the territory that hosts the Pirassununga Aeronautics Garrison (GUARNAE-YS) and, in doing so, to produce and distribute goods resulting from its production. In this context, the Dairy Section (SLAT) of FAYS is responsible for producing and distributing dairy products such as pasteurized Type A milk, yogurts, and dulce de leche. This production follows a joint production model, in which a variety of products are generated from a common raw material and shared inputs, with a unified production flow up to a certain point. To ensure greater cost-effectiveness in this section's operations, there is a constant need to increase efficiency within the production complex, in line with the economic guidelines of the Brazilian Air Force Command (COMAER). Currently, SLAT's production does not have a planning and scheduling process that considers the multiple variables, constraints, and objectives involved, nor does it aim to optimize the use of limited resources. This scenario justifies the application of Operations Research (OR) as a valuable decision-making tool, as it seeks to optimize resource use through mathematical modeling of the production process. This final paper presents, through quantitative research, the application of Linear Programming (LP), a technique within the field of OR, to the classical model of joint production scheduling, with the objective of analyzing the formulation of an optimal production mix for SLAT. To that end, it is necessary to identify the variables and constraints that influence the production process, and thus formulate a linear programming mathematical model that represents the production of a dairy mix capable of determining the optimal, economically efficient quantity of each type of product to be manufactured by the section. This contributes both to fulfilling FAYS's mission and to upholding the principle of cost-effectiveness.

**Keywords:** Production; Dairy products; costs; Linear programming.

## INTRODUÇÃO

De acordo com seu Plano Agroindustrial (Ministério da Defesa, 2023), a FAYS possui como uma de suas competências produzir e distribuir os gêneros oriundos de sua produção para as seguintes organizações do Comando da Aeronáutica (COMAER): Academia da Força Aérea; Escola de Especialistas da Aeronáutica; Escola Preparatória de Cadetes do Ar; Grupamento de Apoio de São Paulo; Grupamento de Apoio de Lagoa Santa; Grupamento de Apoio do Galeão; Diretoria de Administração da Aeronáutica; Grupamento de Apoio do Rio de Janeiro e Base Aérea dos Afonsos.

Em conformidade com a missão da FAYS, as atividades produtivas realizadas nessa organização procuram atingir as metas de redução de despesas estabelecidas pela Secretaria de Economia, Finanças e Administração da Aeronáutica (SEFA) (Ministério da Defesa, 2023). Por ser um órgão da Administração Pública Direta, a FAYS têm seus objetivos diretamente ligados ao

princípio administrativo da economicidade, o qual defende que a atividade administrativa deve prezar pela utilização dos recursos públicos de maneira a minimizar seus gastos, sem comprometimento dos padrões de qualidade (Pereira, 2012). Para tanto, adotou o Prospecto de Downsizing<sup>5</sup> (Tomasko, 1992), restringindo a fabricação a itens lácteos e à cachaça (Ministério da Defesa, 2023), e dessa forma, acentuando ainda mais a importância da redução de custos de produção nesses setores. O enfoque no princípio da economicidade neste trabalho justifica-se por sua relevância para a otimização do processo produtivo, com vistas à minimização de custos e à melhor alocação dos recursos disponíveis na FAYS.

Dessa forma, haja vista a complexidade da produção, percebe-se a necessidade conferida à gestão dos recursos públicos destinados ao complexo produtivo da SLAT. A aplicação de técnicas de otimização capazes de alocar melhor os insumos utilizados, como a Programação Linear (PL), alinha-se à busca pela economicidade na apresentação da melhor solução possível, denominada solução ótima, mantendo, concomitantemente, o nível de qualidade exigido.

Dentro desse contexto, o objeto de análise foi a programação de parte da Unidade de Produção Industrial da FAYS, especificamente da Seção de Laticínios, a qual engloba a fabricação de iogurtes, leite do tipo A pasteurizado e doce de leite. Esses gêneros alimentícios compõem o mix de produtos da SLAT. O presente artigo estuda a viabilidade de otimização dos custos produtivos da seção supracitada com o uso da PL, haja vista o interesse em contribuir com a maior aplicação do princípio da economicidade dentro do complexo produtivo analisado.

Para tanto, a fim de que seja feita a correta análise das variáveis que compõem a SLAT e sua respectiva produção, deve-se considerar que, por se tratar de um sistema de produção conjunta, os lácteos fabricados originam-se do uso compartilhado de recursos produtivos e do leite cru como matéria-prima em comum, ocasionando a interdependência nos processos desta seção. Tal aspecto é de fundamental relevância para a compatibilidade do modelo com a realidade vivida na seção de lácteos da FAYS.

Ademais, também foram avaliadas as variáveis e restrições que abrangem esse sistema, tais como: quantitativo de demanda de cada produto, quantidade total de leite tipo A e demais ingredientes disponibilizada para cada produto, capacidade operativa instalada e tempo de produção de cada insumo.

Considerando a necessidade de racionalizar o uso de recursos e aprimorar a eficiência produtiva, a pesquisa foi vinculada à linha de Computação Científica e Modelagem Computacional

<sup>5</sup> Técnica conceituada como a redução do tamanho da organização como uma estratégia de sobrevivência.

para contribuir com a tomada de decisão. Para tanto, foi explorada a área de conhecimento da Pesquisa Operacional (PO), a qual, por meio de ferramentas quantitativas, auxilia no processo decisório para ampliar a produtividade com a minimização dos custos operacionais (Prado, 1999). Oriunda das ações militares da Segunda Guerra Mundial (Hillier; Lieberman, 2013), a PO tem aplicabilidade em diversas áreas operacionais, e terá foco, neste estudo, no planejamento de produção. De acordo com Bonney (2000), esta aplicação garante maior efetividade ao planejamento e ao controle da produção, dentro dos requisitos de nível de qualidade exigidos. Portanto, espera-se que o uso desse método na SLAT possibilite a otimização dos custos considerando-se as variáveis que compõem o complexo produtivo de laticínios da FAYS.

Dentro do uso da PO, a PL foi empregada utilizando-se da definição de variáveis de uma função objetivo e de um conjunto de restrições para criar um modelo matemático expresso por equações e inequações lineares, os quais viabilizem a formulação de um modelo que permita a simulação de custos de produção em diferentes cenários hipotéticos, relacionados à SLAT. Já existem estudos, como os de Bau Dal Magro *et al* (2015); De Menezes *et al* (2018); Stacanelli *et al* (2015); e de Cirilo *et al* (2022), utilizando a PL para a otimização da produção de lácteos em empresas privadas, porém não foram realizados estudos semelhantes no âmbito produtivo da SLAT.

Nesse contexto, este trabalho pretende contribuir com o cumprimento da missão da FAYS dentro da perspectiva do princípio da economicidade. Com sua relevância evidenciada no auxílio à tomada de decisão do processo produtivo, o artigo se utiliza de um modelo formulado a partir das variáveis e restrições da SLAT para otimizar os custos de fabricação de lácteos. Assim, o complexo produtivo em estudo foi analisado a fim de responder a seguinte pergunta: Quais os benefícios do uso da Programação Linear na redução de custos e na tomada de decisão no processo produtivo da SLAT?

Desse modo, o presente trabalho objetiva analisar a aplicação da PL como ferramenta de apoio à decisão na formulação de um modelo que permita a simulação de custos de produção em diferentes cenários hipotéticos, com vistas à minimização de custos. Para tanto, se faz necessário seguir os objetivos específicos, definidos por: identificar as variáveis e restrições que influenciam no processo produtivo da SLAT; formular um modelo composto por equações lineares e inequações que representam as condições a serem satisfeitas e restrições a serem respeitadas na produção do mix de laticínios; e, por fim, determinar a quantidade ótima de cada tipo de produto fabricado pela seção, por meio da aplicação do modelo.

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a elaboração deste artigo, foram utilizados, como embasamento teórico, literaturas que versam tanto sobre a Pesquisa Operacional (PO) e Programação Linear (PL) quanto sobre sua devida aplicação no contexto de planejamento de produção. A fim de direcionar melhor a formulação do modelo, optou-se por trabalhos que abordassem a produção de laticínios, tal como no presente artigo. Nesse viés, as contribuições de Bau Dal Magro et al (2015), Stacanelli et al (2015), De Menezes et al (2018), Sasaki (2021) e Cirilo et al (2022) foram amplamente utilizadas na revisão bibliográfica deste trabalho.

### 1.1 PROGRAMAÇÃO LINEAR

Neste trabalho, foi empregada a PL, dentro da área da PO, que consiste no processo de minimizar ou maximizar a função objetivo relacionada a uma série de igualdades e desigualdades de restrições lineares (Mansilha *et al*, 2017). Tal método é amplamente utilizado nos casos cuja alocação de recursos escassos deve ser realizada da maneira mais eficiente possível, pois os produtos gerados competem pelos mesmos meios (Costa, 1997; Hillier, 2013). A aplicação da PL no contexto desse artigo se dará pela definição de um mix de produção ótimo, o qual, a partir da criação de um modelo matemático, definirá as quantidades ótimas a serem produzidas de cada laticínio com vistas a minimizar o custo de fabricação.

Para viabilizar essa modelagem e obtenção da solução ótima, será utilizada a forma matemática padrão do método simplex de PL foi idealizada por Dantzig, em 1947 (Mansilha, 2017), e utilizada por Martins (2011), e será empregada neste trabalho na seguinte forma, representadas por (1) e (2):

$$\text{Minimizar } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a: } \begin{cases} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n = b_1 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n = b_2 \\ \dots \quad \dots \quad \dots \\ a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n = b_m \\ X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, \dots, X_n \geq 0 \\ b_1 \geq 0, b_2 \geq 0, \dots, b_n \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

Neste modelo,  $Z$ , indicado por (1), representa a função objetivo do modelo em questão. Já as funções apontados por (2) serão as restrições a serem seguidas no problema, onde a matriz  $A$  ( $m \times n$ ) descreve a matriz dos coeficientes a serem utilizados,  $X$  ( $n \times 1$ ) o vetor das variáveis de decisão, definidas no modelo em questão como o quantitativo de cada lácteo a ser produzido. O elemento  $b$  ( $m \times 1$ ) representa o vetor de demandas, enquanto que  $C$  ( $1 \times n$ ) será o custo unitário de cada um dos produtos fabricados pelo complexo produtivo.

Diante das diretrizes econômicas da FAYS, da complexidade da produção de mercadorias lácteas e da necessidade de otimização de recursos, vê-se a PL como uma ferramenta possível de ser aplicada no planejamento de produção e na redução de custos.

## 1.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR E APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS

Na revisão de literatura encontram-se pesquisas com a aplicação de PL na área de produção, com enfoque na produção de laticínios. A seguir, serão apresentados alguns dos trabalhos que tratam do assunto abordado.

No estudo de Bau Dal Magro *et al* (2015), constatou-se ser possível a qualificação do processo decisório do gestor de indústria láctea com o emprego da PL. Por meio do estudo de caso de uma empresa de laticínios localizada no Estado do Paraná, foi observado a possibilidade de aumento do volume de vendas em 10%, além do aumento da margem de contribuição total da empresa em 5,23%. Para elaboração do modelo, foram consideradas restrições de mercado, como a quantidade demandada de cada lácteo; de processo, com a capacidade máxima de operação das máquinas; e de disponibilidade de matéria-prima. Já na formulação da função objetivo, as variáveis de decisão foram definidas como a quantidade a ser produzida de cada um dos laticínios, sendo estes mussarela, parmesão, provolone, ricota e manteiga. A efetividade do modelo foi comprovada ao concluir que a análise do mix de produção com uso de modelagem matemática possibilita identificar um mix adequado que ofereça melhores resultados.

Já em outro estudo, de Stacanelli *et al* (2015), buscou-se determinar um plano ótimo de produção para uma indústria de laticínios de Minas Gerais. Por meio de um problema de PL, considerou as restrições de disponibilidade de matéria-prima (leite), de tempo disponível de mão de obra e de demanda para cada um dos tipos de laticínios produzidos. A função objetivo buscou maximizar a margem de contribuição semanal do mix de produção, com suas variáveis de decisão

definidas pela quantidade a serem fabricadas de cada produto lácteo comercializado pela empresa em questão. O trabalho utilizou da ferramenta Solver, do Excel, para a resolução do modelo matemático, resultando na formulação de um novo mix de produção que retornaria um maior lucro semanal para a empresa. Desse modo, pode-se concluir que o modelo proposto pôde auxiliar no planejamento da linha de produção analisada.

Ainda nessa área, o artigo de De Menezes *et al* (2018) utilizou a PL a fim de encontrar um mix de produtos ótimo que maximizasse os lucros de uma empresa de laticínios no Centro-Oeste de Minas Gerais. Com o uso do software Lingo para a melhor análise dos dados, foram consideradas as restrições de disponibilidade de matéria prima e de carga horária de mão de obra. Para a função objetivo, as variáveis de decisão foram definidas como a quantidade mínima a ser produzida de cada um dos laticínios distribuídos, a fim de maximizar a lucratividade da empresa em análise. Em suas considerações finais, o artigo afirma que a utilização da PL possibilita além da otimização do mix de produção, auxiliar a empresa em seu processo decisório, uma vez que os resultados encontrados evitam o acúmulo de produtos em estoque e a perda de matéria prima.

No artigo escrito por Sasaki (2021), buscou-se otimizar o mix de produção dos lácteos da marca produzida pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG). Em seu artigo, a PL foi empregada para maximizar a margem de contribuição total, levando em consideração as quantidades de matéria-prima disponíveis e as restrições de tempo de disponibilidade de mão de obra. Suas variáveis de decisão, definidas pelas quantidades a serem produzidas de cada um dos laticínios, consideraram 12 itens distintos, por fazerem parte do portfólio padrão do IFMG. Para tanto, utilizou-se do programa Solver, do software Excel, para aplicar o modelo tanto no cenário real quanto em simulações, os resultados obtidos comprovaram o auxílio da ferramenta de PL na tomada de decisões concernentes ao processo produtivo do Instituto, conforme exposto na dissertação em questão:

Norteadas pela busca de melhores resultados, as organizações visam maximizar o lucro e minimizar os custos. Para isso, é fundamental que as decisões organizacionais tomadas sejam assertivas. E a utilização da programação linear mostrou-se uma aliada para avaliar diferentes perspectivas para que a melhor decisão seja adotada (Sasaki, 2021, p.82).

Em outro estudo, de Cirilo *et al* (2022), foi empregado o software Solver Gurobi para a resolução de um modelo que auxiliasse na elaboração de um plano de produção e maximizasse o faturamento bruto de uma empresa de laticínios do estado do Paraná. Alcançando a melhoria do

resultado financeiro da empresa em mais de 10%, o modelo foi capaz de direcionar a decisão de compra e vendas de insumos, atender a demanda dos clientes e reduzir o estoque de produto acabado pela metade no fim do período. Após a coleta de dados da empresa, foram definidos os parâmetros utilizados, sendo estes: demanda, valor de venda, capacidade de estocagem, custo de manutenção de estoque de produtos e de insumos, custo de manutenção de estoque, quantidade do insumo utilizado para a fabricação dos lácteos, estoque inicial dos produtos e insumos, custo dos ingredientes, capacidade produtiva disponível e quantidade a ser recebida dos insumos em período determinado. Em sua função objetivo, buscou a maximização do faturamento bruto no horizonte de planejamento, fixando as variáveis de decisão como sendo: as quantidades a serem fabricadas de cada produto, as quantidades de cada laticínio e de cada ingrediente a serem estocadas e a quantidade de insumos a ser comprada e vendida em determinado período de tempo. Mediante a resolução do modelo, foi possível concluir que a PL pôde, de fato, contribuir com a tomada de decisão em empresas de laticínios, pois proporcionou um plano de produção capaz de maximizar o faturamento bruto da organização estudada.

Diante da efetividade comprovada da PL em cenários industriais privados, conforme apontado por Cirilo *et al.* (2022) e Sasaki (2021), a aplicação deste método em sistemas produtivos similares tem gerado resultados eficazes na redução de custos e na otimização da produção. Torna-se, portanto, evidente a relevância deste trabalho em avaliar sua aplicabilidade no âmbito da administração pública, especificamente no contexto da SLAT.

## **2 METODOLOGIA**

Embora os estudos de Bau Dal Magro *et al* (2015), Stacanelli *et al* (2015), De Menezes *et al* (2018), Sasaki (2021) e Cirilo *et al* (2022) tenham demonstrado a viabilidade econômica da PL no setor lácteo privado, sua aplicação no contexto da administração pública, mais especificamente no processo produtivo da SLAT, exige adaptações, considerando restrições orçamentárias e regulatórias específicas do COMAER. Neste caso, por se tratar de um sistema produtivo da administração pública, a função objetivo explora a minimização dos custos de fabricação, a fim de alinhar-se à lógica da administração pública eficiente preconizada na Lei 14.133 (Brasil, 2021). A escolha por esse modelo justifica-se por permitir respeitar as restrições estabelecidas pela SEFA e atender às demandas logísticas das unidades abastecidas.

Referente ao recorte temporal da pesquisa, a análise realizada neste trabalho teve como base a produção da SLAT referente ao mês de março de 2023. Essa escolha justifica-se pelo fato de a pesquisa ter sido iniciada no ano de 2024, período em que ainda não havia dados consolidados e suficientes sobre a produção correspondente ao referido ano. Dessa forma, optou-se por utilizar as informações mais recentes disponíveis, assegurando a consistência e a viabilidade da aplicação do modelo proposto.

## 2.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

Segundo Gerhardt e Silveira (2009) e Gil (2017), pesquisa pode ser classificada como aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicações práticas do modelo matemático dirigidas à solução do problema de otimização, e se enquadra como um estudo de caso, pois examina as particularidades às quais seu objeto, a produção da SLAT, está submetido.

Nesse viés, foi escolhida a abordagem quantitativa e a aplicação do método de Programação Linear (PL), justificados pelo contexto vivenciado pela SLAT, que demanda uma alocação eficiente de recursos escassos sob múltiplas restrições. A técnica se mostra apropriada por permitir a formulação de um modelo matemático que considera simultaneamente diferentes variáveis operacionais, como custo, demanda e tempo.

Paralelamente a isso, a pesquisa bibliográfica acerca do uso da PL em empresas de laticínios também foi empregada como forma de auxiliar na modelagem, a fim de adquirir conhecimento sobre a modelagem e solução do problema de programação da produção. Para tanto, tais buscas foram realizadas mediante uso do Google Acadêmico e Scielo, com o emprego concomitante das seguintes palavras-chave: produção, laticínios, custos, e programação linear; acrescidas de operadores booleanos, que indicam como combinar os termos empregados. Foram, também, realizadas visitas para a observação *in loco*, categorizada por Marconi e Lakatos (2003) para a realização da descrição e compreensão do processo produtivo da SLAT, visando maior fidelidade na elaboração do modelo matemático antes de sua concepção.

Ademais, o estudo em questão possui cunho explicativo, uma vez que o foco é entender as relações entre as variáveis envolvidas na produção de laticínios e como a PL pode ser aplicada para otimizar seus custos. Desse modo, entende-se que pesquisa busca não apenas descrever o problema, mas também explicar como diferentes fatores interagem e influenciam os custos, levando a uma solução prática.

## 2.2 ETAPAS DE ELABORAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

O método de resolução de PL também já mostrou-se eficaz em trabalhos anteriores relacionados ao emprego do software Excel Solver, utilizado no presente artigo, para a otimização de sistemas de produção de laticínios, como visto por Sasaki (2021), Bau Dal Magro *et al* (2015) e Stacanelli *et al* (2015).

A metodologia adotada neste trabalho segue o ciclo clássico da PO, sistematizado a partir das contribuições de Dantzig (1963) e consolidado por autores como Hillier (2013) e Lieberman (2013). Esse ciclo compreende as etapas de formulação do problema, construção e solução do modelo matemático, validação do modelo e, por fim, implementação da solução.

### 2.2.1 Formulação do modelo matemático

Na primeira etapa, para a formulação do problema, foi necessário depreender o processo produtivo da SLAT. Para tanto, foram utilizados os dados de produção presentes no Programa de Autocontrole PAC 09 (Comando da Aeronáutica, 2023) e realizadas visitas *in loco* com objetivo de aprimorar a análise e a modelagem a ser construída. Com o apoio do Plano Agroindustrial (Ministério da Defesa, 2023) foi possível definir o objetivo da função do modelo em virtude das diretrizes fixadas pelo documento em questão.

Em seguida, foram levantados os dados reais de produção disponíveis, como a disponibilidade de ingredientes, que juntamente com seus respectivos custos, foram extraídos dos pregões eletrônicos para a aquisição dos insumos utilizados. Já a disponibilidade de horas de trabalho dos operadores das máquinas foi obtida por meio de contratos referentes à prestação de serviço dos trabalhadores da SLAT. A quantidade disponibilizada semanalmente de matéria prima foi alcançada por meio de dados operacionais disponibilizados pela SLAT, por meio de planilhas internas de controle de produção e recebimento de leite no ano de 2023. Com base nos dados presentes nos registros internos de escoamento da produção referente ao mês de março de 2023 (BRASIL, 2023), foram acessadas informações acerca das demandas de organizações militares abastecidas. Ademais, para obter acesso aos preços e custos realizados pelo complexo produtivo em questão, também foram analisados os relatórios da Seção de Custos da FAYS.

Dessa forma, foi fixada a utilização das quantidades a serem produzidas de cada item lácteo como as variáveis de restrição do modelo. Como a produção da FAYS não visa lucratividade, o objetivo a ser definido é de otimização dos custos de fabricação; além de serem elencadas as restrições do sistema produtivo da SLAT, como custo de insumos, demanda de cada produto e capacidade operacional dos equipamentos. Para tanto, é fundamental discorrer a respeito do processo de produção de cada insumo, para que se elabore um modelo de PL mais fidedigno às operações da SLAT.

### **2.2.2 Construção do modelo matemático**

Posteriormente, na segunda fase, o material coletado é organizado em planilhas do programa Microsoft Excel, para que se apliquem as restrições à função objetivo na ferramenta Solver. De acordo com Gomes Jr. e Souza (2004), dentro do software, a definição de minimização é empregada para encontrar a solução da fórmula da célula objetivo e das células de restrição, sujeitas às células variáveis por meio da resolução de funções.

Ademais, para o cumprimento desta etapa, foi definida a função objetivo do modelo, cuja finalidade é a minimização dos custos totais de produção. Em complemento, foram estabelecidas as variáveis de decisão e formuladas as restrições do sistema produtivo, representadas por meio de inequações lineares. A construção do modelo matemático envolveu, ainda, a aplicação de notações formais, como símbolos, coeficientes e operadores, de modo a estruturar adequadamente as relações entre os elementos do problema.

### **2.2.3 Solução do modelo matemático**

O método de solução definido para ser utilizado pelo programa Excel Solver baseia-se no algoritmo simplex<sup>6</sup>, pois baseia-se em conceitos de álgebra linear, buscando aprimorar progressivamente a solução a cada iteração, até que se atinja a solução ótima (Arenales, 2011).

Esse método foi empregado por sua capacidade de encontrar soluções ótimas exatas de forma iterativa, respeitando as restrições do sistema e minimizando a função objetivo estabelecida.

---

<sup>6</sup> Define-se como simplex um algoritmo de resolução da Programação Linear o qual começa em um vértice (ou solução básica) da região factível e se move ao longo das arestas do poliedro definido pelas restrições, sempre em direção a uma solução melhor, até que não seja mais possível melhorar a função objetivo. (VANDERBEI, 2001).

### 2.2.4 Validação do modelo matemático

Na fase de validação do modelo matemático, serão adotadas duas estratégias principais. A primeira consiste na comparação entre os resultados fornecidos pelo modelo e os dados reais de produção da SLAT no ano de 2023, com o objetivo de verificar a aderência das soluções geradas à realidade operacional. A segunda estratégia envolve a execução do modelo sob diferentes cenários simulados, com variações em parâmetros como a disponibilidade de matéria-prima, capacidade produtiva e demandas por produto. Essa abordagem permitirá avaliar o comportamento do modelo em contextos alternativos e verificar sua consistência lógica e aplicabilidade como ferramenta de apoio à tomada de decisão. Os resultados apresentados nos estudos já realizados de Bau Dal Magro *et al* (2015), de De Menezes *et al* (2018), de Stacanelli *et al* (2015) e de Cirilo *et al* (2022) também foram utilizados para validar o método de otimização selecionado devido à similaridade de aplicação e do método de solução.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 FORMULAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

A etapa de formulação do modelo matemático consiste em traduzir, de forma lógica e estruturada, a realidade operacional do sistema produtivo estudado em expressões algébricas que representam com fidelidade seus objetivos, variáveis e restrições. Neste trabalho, essa formulação teve como base a observação *in loco* dos processos da SLAT, a análise documental das diretrizes institucionais e o levantamento detalhado dos recursos disponíveis e exigências operacionais. A formulação envolveu também a definição dos coeficientes técnicos, dos limites de recursos e dos custos unitários, compondo um modelo de PL capaz de representar matematicamente o problema de otimização da produção da SLAT de maneira realista e operacionalmente aplicável.

Atualmente, a Seção de Laticínios da FAYS é responsável pelo escoamento de diferentes tipos de produtos lácteos, sendo esses: o leite tipo A, os iogurtes de 900g e 180g nos sabores de morango, coco, ameixa e integral; e doce de leite em baldes plásticos de capacidade de 13kg (Ministério da Defesa, 2023). Tal produção é realizada, principalmente, visando atender às

demandas das organizações militares, presente no Plano Agroindustrial da FAYS (Ministério da Defesa, 2023). Nesta seção, serão abordados os processos produtivos da SLAT, em virtude da relevância destes na formulação do modelo matemático da pesquisa.

Por meio da observação *in loco* realizada nas instalações produtivas da SLAT no dia 30 de março de 2025, foram descritos os processos produtivos acerca de cada laticínio a ser analisado neste trabalho.

Inicialmente, todos os produtos têm como base o leite tipo A, o qual é ordenhado duas vezes ao dia de forma automática na Seção de Bovinocultura de Leite (SBLE). Cada ciclo de ordenha leva aproximadamente 4 horas, com 6 vacas por vez (Ministério da Defesa, 2023).

Após a ordenha, o produto é transportado por tubulações até a sala de leite cru, onde é armazenado em 2 tanques com capacidade de 2.000 litros cada. A matéria-prima não deve permanecer por mais de 48 horas em armazenamento, a fim de evitar a deterioração. Em seguida, segue para a etapa de pasteurização, com duração de cerca de 1 hora para a quantidade de leite de cada tanque, na qual é aquecido para eliminar micro-organismos patogênicos, garantindo, assim, sua segurança e qualidade.

Concluída a pasteurização, o produto é transferido para a etapa de padronização. Nessa fase, é direcionado ao tanque de expansão, onde ocorre o ajuste da quantidade de gordura. Esse processo é fundamental para assegurar que o produto final atenda aos padrões de qualidade e às especificações exigidas para o consumo e para a produção de derivados lácteos. A padronização leva aproximadamente 40 minutos para cada 500 litros, sendo esta a capacidade máxima da máquina. Após essa fase, o produto é destinado à fabricação dos derivados e do leite tipo A, ambos processados pela SLAT.

### **3.1.1 Leite pasteurizado tipo A**

Concomitante à padronização e à pasteurização, o leite passa pela homogeneização, na qual ocorre a quebra dos glóbulos de gordura em partículas menores e uniformes, impedindo que a gordura se separe e suba à superfície. Realizada em um homogeneizador, esta etapa é exclusiva ao leite que será embalado. A homogeneização possui a mesma duração da etapa de pasteurização, cerca de 2 horas, e é realizada com a mesma quantidade de leite pasteurizado.

Por fim, é acondicionado para a realização do envase, o qual ocorre por meio de bombas de transferência. São utilizadas embalagens primárias plásticas de 1 litro, e posteriormente,

armazenadas em embalagens tipo caixa plástica, que comportam 10 unidades de embalagens primárias.

É importante ressaltar que, para a produção do leite pasteurizado tipo A, são necessários dois operadores ao longo de todo o processo. Um deles é responsável pela supervisão direta das etapas térmicas e mecânicas, como pasteurização, homogeneização e padronização, operando os respectivos equipamentos e monitorando os parâmetros de controle de qualidade. O segundo operador atua exclusivamente na etapa de envase, manuseando o sistema de transferência e organizando as embalagens primárias de 1 litro nas caixas plásticas destinadas ao armazenamento e distribuição. Essa alocação influencia diretamente na carga horária de trabalho envolvida e deve ser considerada na formulação das restrições de capacidade operacional no modelo de PL.

### **3.1.2 Iogurte**

Para a fabricação dos iogurtes, após processo de pasteurização, o insumo é direcionado a duas iogurteiras, de capacidade de 500 litros cada, e é aquecido até a temperatura de 35 °C, para serem acrescidos o açúcar, a proteína e o estabilizante. Tal etapa tem a duração de, aproximadamente, 10 minutos para ser efetivada. Em seguida, realiza-se novamente o aquecimento, até os 85 °C. Ao atingir essa temperatura, os aquecedores são desligados e é feito o resfriamento com água fria, até os 40 °C. Em seguida, o fermento é adicionado e o produto é agitado por 8 minutos. Aguarda-se o tempo de fermentação, o qual leva cerca de 12 a 16 horas, e, posteriormente, realizam-se as análises quanto à acidez e pH. Após a fermentação, o iogurte é novamente agitado por um período de 30 a 40 minutos, para garantir sua homogeneização antes do envase. Todo esse processo, até o fim da fermentação, requer a atuação de um operador responsável pelo acompanhamento das iogurteiras.

Nesta última etapa, embora o envase do iogurte na SLAT seja automático, requer atuação simultânea de 3 operadores por envasadora: um responsável pela colocação das garrafas vazias na linha, outro pela retirada dos frascos já preenchidos e um terceiro encarregado do enfardamento. O tempo médio de envase de uma iogurteira é de aproximadamente 4 horas para os iogurtes de 180g e de 2 horas para os iogurtes de 900g, considerando um ciclo completo. Após o envase, os produtos são organizados em fardos plásticos, sendo os recipientes de 180g acondicionados em conjuntos de 24 unidades e os de 900g, em conjuntos de 12 unidades. O processo de enfardamento possui

cadência de um fardo a cada 30 segundos, exigindo ainda a retirada dos fardos prontos da enfardadora para armazenamento.

### 3.1.3 Doce de leite

O processamento do doce de leite tem início com a higienização e transferência do leite pasteurizado para galões plásticos de 50 litros, atividade a qual demanda, em média, 30 minutos. Em seguida, são separados 250 litros da matéria-prima, que serão gradualmente incorporados ao tacho em porções de 25 litros, utilizando-se baldes sanitizados. A fervura da mistura, etapa na qual são adicionados o açúcar cristal, o bicarbonato de sódio e o conservante sorbato de potássio, se estende por aproximadamente 3 horas, até que se atinja a concentração desejada entre 70° e 71,5° BRIX. Concluído o cozimento, procede-se ao envase do produto final em baldes de 13 kg previamente higienizados, operação com cerca de 30 minutos de duração. Para garantir a integridade do alimento, os recipientes são mantidos invertidos a fim de formar vácuo parcial, o que contribui para a conservação e qualidade sensorial do produto. É importante destacar que os tempos atribuídos a cada fase do processo referem-se a um lote padrão de 250 litros de leite.

Para a fase de concepção deste trabalho, é importante recapitular as formas matemáticas empregadas, indicadas anteriormente neste artigo por (1) e (2), a fim de realizar as devidas substituições com os valores correspondentes aos aplicados à produção da SLAT:

Após observação da forma matemática e análise das observações feitas *in loco* no complexo produtivo da SLAT, foi possível conceber um modelo matemático específico que represente as restrições e objetivos identificados no processo de produção.

Inicialmente, a respeito da função objetivo,  $Z$  representa o valor total do custo a ser minimizado. O conjunto de coeficientes  $C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$  equivale ao custo unitário de produção de cada laticínio, com os respectivos índices diferenciando tais produtos. As variáveis representadas por  $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$  indicam a quantidade, em unidade, dos produtos lácteos dos quais seus índices representam os seguintes produtos:

**Tabela 1** Índices das variáveis utilizadas na formulação da modelagem.

Índice	Correspondente
1	Iogurte de morango 900g
2	Iogurte de ameixa 900g
3	Iogurte de coco 900g
4	Iogurte integral 900g
5	Iogurte de morango 180g
6	Iogurte de ameixa 180g
7	Iogurte de coco 180g
8	Iogurte integral 180g
9	Balde de doce de leite 13kg
10	Leite pasteurizado tipo A 1L

Fonte: elaboração própria com base em dados coletados na pesquisa.

Quanto às restrições, foram levadas em consideração limitações de recursos de fabricação, definidos por Stacanelli *et al* (2015) como tempo, mão de obra e insumos utilizados. Complementarmente, também foram consideradas as restrições descritas por Bau Dal Magro *et al* (2015) e abordadas em seu modelo, sendo estas as de mercado (demanda) e de matéria-prima, o leite.

Nesse contexto, para o presente trabalho, foram incorporadas as quantidades disponíveis por semana referente aos insumos utilizados, sendo estes: sorbato de potássio, bicarbonato de sódio, açúcar cristal, estabilizante, proteína, fermento BV, polpa e aroma dos sabores produzidos (morango, ameixa e coco), açúcar refinado, corantes de morango e ameixa, e, da matéria-prima, leite tipo A. Ademais, outros fatores que constituem restrições adicionais são a demanda semanal mínima a ser atendida pelas OM abastecidas, prevista em registros operacionais internos da FAYS relativos à distribuição dos produtos no mês de março de 2023, e a capacidade máxima de produção, calculada a partir da disponibilidade dos profissionais responsáveis pela operação das máquinas.

Diante do exposto, a quantidade de cada ingrediente utilizado não poderá ser maior do que as quantidades disponibilizadas pela FAYS, identificadas por  $b = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_m\}$ . No modelo, tal quantia está representada pelo conjunto de coeficientes  $A = \{A_{11}, A_{22}, A_{33}, \dots, A_{mn}\}$ , no qual os

índices de 1 a m definem a qual insumo se refere determinada quantidade, enquanto que os indicativos de 1 a n definem o laticínio no qual o ingrediente foi aplicado.

Já a restrição referente à demanda das Organizações Militares abastecidas implicará inequações às quais limitam os valores de  $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$  a valores maiores ou iguais ao somatório do que é solicitado pelas unidades de cada produto lácteo. No modelo pré-definido, os valores das demandas foram representados pelo conjunto  $d = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_{10}\}$ .

Por fim, as restrições de capacidade máxima de operação da SLAT foram elaboradas com base no tempo total, em horas, disponível para a realização das atividades produtivas em uma semana. Considerando a disponibilidade de funcionários prevista no Termo de Referência da contratação de serviços operacionais da FAYS (Ministério da Defesa, 2022), as restrições foram estruturadas de forma segmentada, uma para cada posto de trabalho. Para a devida contabilização, foi considerado o tempo de operação de cada uma das etapas de produção correspondente a cada unidade de insumo, obtido por meio de observação *in loco*.

Concluída a elaboração, tanto da função objetivo e da definição de suas restrições, entende-se que o modelo matemático seguiria o seguinte formato:

$$\text{Minimizar (ou maximizar) } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_{10}X_{10}$$

$$\text{Sujeito a: } \begin{cases} A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{110}X_{10} = b_1 \\ A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + \dots + A_{210}X_{10} = b_2 \\ \dots \quad \dots \quad \dots \\ A_{311}X_1 + A_{312}X_2 + \dots + A_{3110}X_{10} = b_{31} \\ X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, \dots, X_{10} \geq 0 \\ b_1 \geq 0, b_2 \geq 0, \dots, b_{31} \geq 0 \end{cases}$$

### 3.2 CONSTRUÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

Nesse contexto, é possível observar, na função objetivo, a necessidade de substituição dos coeficientes  $C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_{10}\}$  pelos efetivos custos unitários despendidos na produção de cada laticínio. Tais dados foram obtidos por meio do Relatório Técnico nº 01/FAYS/2023, da Seção de Custos da FAYS, de caráter ostensivo à organização (Ministério da Defesa, 2023). Para estes coeficientes, será adotada o real (R\$) como unidade de medida.

Quanto às restrições de demanda de cada produto, foram obtidas por dos registros operacionais internos da FAYS, constantes no mapa final de escoamento referente ao mês de março de 2023 (BRASIL, 2023).

Já os coeficientes dos insumos utilizados foram extraídos das receitas de cada produto lácteo, conforme disponibilizado por meio de publicação disponível em sítio eletrônico do Sistema de Informações Gerenciais do Serviço de Inspeção Federal (SIGSIF), vinculado ao Ministério da Agricultura e Pecuária (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2017). Ressalta-se que o somatório do consumo de cada ingrediente na fabricação de todos os laticínios não poderá exceder a quantidade disponibilizada pela FAYS. Tal quantidade foi determinada a partir da análise do Termo de Referência do Pregão Eletrônico nº 004/2023 da FAYS, referente à aquisição de insumos para sua produção industrial (Brasil, 2023).

Por fim, a restrição referente à capacidade de operação foi definida com base na carga horária máxima permitida para a execução das atividades produtivas da SLAT, estabelecida pelo Termo de Referência da contratação de serviços operacionais da FAYS (Ministério da Defesa, 2022). Considerando a jornada de trabalho vigente na organização, fixada em 44 horas por semana, os coeficientes relacionados ao tempo de produção de cada item foram obtidos a partir da análise dos processos operacionais da unidade. Dessa maneira, a limitação de horas integra o modelo proposto como uma restrição de capacidade, de maneira que a solução obtida respeite as condições reais de disponibilidade de mão de obra, conforme o regime de funcionamento da SLAT. Ressalta-se que, por se tratar de um processo sequencial, as 44 horas correspondem ao tempo total disponível para a etapa inicial de cada linha de produção. As etapas subsequentes, por sua vez, têm seu tempo de execução contabilizado com o devido abatimento das fases anteriores. Tal abordagem permitiu maior precisão na representação das limitações reais do processo, uma vez que o processo é contínuo e exige a atuação simultânea de operadores em diferentes etapas.

Ademais, para a construção das inequações relativas às restrições de tempo, especialmente nos casos em que há simultaneidade entre etapas do processo produtivo, optou-se por considerar apenas os tempos de maior duração. Tal decisão fundamenta-se na lógica de que, em atividades concomitantes, o tempo total necessário é determinado pela etapa mais longa, uma vez que as demais são concluídas dentro desse intervalo. Essa escolha se ancora nos princípios da Pesquisa Operacional (PO), que busca representar de forma simplificada, porém eficiente, a realidade de sistemas complexos, priorizando variáveis que impactam diretamente no objetivo da modelagem. Ao adotar o tempo máximo nas etapas simultâneas, evita-se a duplicidade de restrições e garante-se um modelo enxuto e funcional, sem prejuízo à sua capacidade de refletir as limitações reais do processo produtivo analisado.



<b>MODELAGEM DE PROGRAMAÇÃO LINEAR</b>	
	$(iv) \leq 44 - (i)$ Fermentação de iogurtes (v): $(v) = 15 \cdot A$ $A \geq 450$ (i), $A \in \mathbb{Z}_+$ $(v) \leq 144 - (i) - (iv)$ Adição de sabor em iogurtes (vi): $1,5 \div (iv)$ $(vi) \leq 44 - (i) - (iv) - (v)$ Envase de iogurtes de 900g: $2 \div (vi)$ $2 \div (vi) \leq 44 - (i) - (iv) - (v) - (vi)$ Envase de iogurtes de 180g: $4 \div (vi)$ $4 \div (vi) \leq 44 - (i) - (iv) - (v) - (vi)$

Fonte: elaboração própria.

É importante destacar que, durante o período em análise, não houve demanda dos insumos identificados por  $X_5$ ,  $X_6$ ,  $X_7$  e  $X_8$ , os quais representam os iogurtes de 180g nos sabores de morango, ameixa, coco e integral, respectivamente. Tal aspecto da demanda ocasionou em sua restrição sendo apenas de não negatividade. Outro ponto a destacar é a supressão de variáveis cujo coeficiente se igualasse a zero nas restrições, uma vez que sua participação no sistema produtivo seria nula, não impactando no resultado do modelo e contribuindo para sua simplificação.

Ademais, é importante destacar que, para representar adequadamente a etapa de fermentação dos iogurtes no modelo matemático, foi criada a variável auxiliar A, a qual indica o número de ciclos de fermentação necessários para processar o volume de leite destinado à produção desses produtos. Como cada ciclo de fermentação é capaz de processar até 450 litros, a variável A foi definida como um número inteiro positivo ( $A \in \mathbb{Z}^+$ ). Dessa forma, garantiu-se que o tempo de fermentação fosse dimensionado de forma realista, respeitando a capacidade operacional da SLAT e a simultaneidade dos processos envolvidos.

Para fins de padronização, foi considerada a base semanal para o cálculo da função objetivo e das demais equações e inequações, uma vez que os dados referentes à produção, à disponibilidade de leite cru e à demanda da SLAT são registrados e disponibilizados de forma semanal. Definiu-se o cálculo por esta unidade de tempo em razão da produção ser fixada semanalmente, devendo, portanto, os demais parâmetros se adequarem ao planejamento produtivo estabelecido a fim de garantir a compatibilidade das unidades e maior precisão da análise. Com isso, a quantidade disponibilizada dos demais insumos empregados foi convertida para a mesma

unidade temporal, considerando-se o consumo médio semanal com base nos dados de aquisição registrados nos pregões eletrônicos e nos contratos vigentes. Essa padronização permite garantir a consistência entre as variáveis do modelo, assegurando que todos os parâmetros envolvidos na formulação da função objetivo e das restrições estejam expressos em uma mesma base temporal, o que contribui para a fidelidade da modelagem à realidade operacional da SLAT.

Neste estudo, também optou-se por desconsiderar os tempos de setup associados às trocas de configuração das máquinas, visto que não trariam alterações significativas no modelo nem alterariam o resultado final. Tal decisão fundamenta-se na premissa de que a inclusão dessa variável acarretaria maior complexidade ao modelo, tornando sua resolução mais onerosa em termos de tempo e recursos computacionais.

### 3.3 SOLUÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

Após elaborado o modelo e padronizadas as unidades de medidas a serem empregadas, submeteu-se o modelo ao Excel Solver com os dados reais como a demanda a ser atingida, os custos unitários dos laticínios e a quantidade disponível de ingredientes pela FAYS. A utilização do software foi feita com base no estudo de Barella (2020) a respeito da otimização da produção de queijos com a ferramenta do Solver.

A primeira etapa deu-se pela elaboração de uma planilha de cálculo no Excel, explicitando as células nas quais foram colocados os valores das variáveis de decisão, que iniciaram com valores zeros; os coeficientes da função objetivo; os coeficientes da matriz das restrições e as constantes que constituem os limites de cada um de tais limites.

A próxima etapa foi inserir na planilha de cálculo a fórmula que relaciona os coeficientes da função objetivo com as variáveis de decisão e a fórmula que relaciona os coeficientes das restrições com as variáveis de decisão. A introdução dos dados no Solver é realizada de maneira sequencial. Primeiramente, deve-se indicar, como célula de destino, a localização da função objetivo que se deseja otimizar. Em seguida, foi especificado o tipo de otimização pretendida, sendo o de minimização. Posteriormente, foram inseridas as referências correspondentes às variáveis de decisão envolvidas no modelo. Por fim, as restrições do problema são adicionadas, conforme elucidado na figura 2 do Apêndice A. Após o preenchimento das informações relativas a cada restrição, finaliza-se o procedimento. Executando essa tarefa para todas as restrições, obtém-se a Figura 3 do Apêndice A.

Na etapa seguinte, selecionou-se o método "LP Simplex", apropriado para o tipo de problema em análise (Cirilo *et al*, 2023). Após a definição do método, o sistema apresentou a identificação de uma solução, conforme ilustrado na Figura 4, presente no Apêndice A, possibilitando a seleção do relatório de saída de resposta.

Após isso, o programa expõe a solução encontrada juntamente a uma apresentação do tempo de solução, limites de iteração, e a definição de que não se assumiram valores negativos para as variáveis. O relatório também apresenta o status da associação entre as variáveis e as restrições estabelecidas no modelo, como apresentado no Apêndice B.

Dessa forma, o relatório de solução gerado pelo Solver indicou uma solução viável encontrada, atendendo a todas as restrições e condições estabelecidas no modelo de PL. Utilizando o método Simplex, o modelo foi resolvido em tempo computacional reduzido, conforme indicado no relatório de respostas presente no apêndice B. A solução apresenta as quantidades ótimas a serem produzidas de cada item, respeitando os limites mínimos de demanda, as restrições relativas ao uso de insumos e disponibilidade de matéria-prima. Todas as variáveis de decisão foram tratadas como inteiras, e nenhuma das restrições foi violada, de forma a confirmar a viabilidade e consistência da formulação matemática adotada.

Assim, neste primeiro momento, a proposta semanal apresentada pelo suplemento Excel Solver foi de produzir apenas a quantidade mínima demandada de cada produto lácteo. Isso resultaria na produção de 1155 iogurtes de morango de 900g, 861 iogurtes de ameixa de 900g, 1025 iogurtes de coco de 900g, 861 iogurtes integrais de 900g, 67 baldes de doce de leite de 13kg e 3950 embalagens de leite pasteurizado tipo A de 1 litro. Tal produção demandaria 9522,62 litros de leite, resultando no custo semanal de R\$102.775,72.

### 3.4 VALIDAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

Para maior validação, o modelo foi comparado à realidade produtiva vivenciada pela SLAT no mesmo período, bem como testá-lo em outras realidades que simulem variações nos parâmetros de entrada. Essa abordagem permite verificar se o modelo responde de forma coerente diante de diferentes cenários e se mantém consistente em sua proposta de otimização, assegurando, assim, maior confiabilidade e aplicabilidade como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

### **3.4.1 Comparação do modelo com a realidade da SLAT**

Conforme visto no relatório produzido pela ferramenta Solver Excel disposto no Apêndice B e nos dados disponibilizados pelo Relatório Técnico nº 01/FAYS/2023, da Seção de Custos da FAYS (Ministério da Defesa, 2023), é possível perceber que todas as variáveis de decisão associadas aos produtos da SLAT foram ajustadas aos valores mínimos exigidos de demanda, conforme o que foi operacionalizado pela SLAT período analisado.

Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que, na formulação do modelo, o objetivo era exclusivamente a minimização dos custos de produção, sem a inclusão de um critério de maximização de produção ou margem de contribuição. Assim, como a função objetivo foi estruturada para reduzir ao máximo os custos totais e as restrições de demanda foram definidas como valores mínimos obrigatórios, o Solver identificou como solução ótima o cenário em que apenas esses limites inferiores fossem atendidos, uma vez que produções superiores implicariam aumento de custos.

Adicionalmente, optou-se por desenvolver novos cenários em virtude da própria lógica adotada pela SLAT, que estabelece a demanda mínima como meta fixa a ser atendida, e não como um ponto de partida passível de superação conforme a disponibilidade de recursos. Essa fixação da demanda como parâmetro estático compromete a exploração de alternativas mais eficientes do ponto de vista econômico. Ao permitir a introdução de novas variáveis com base nas sobras de recursos, buscou-se ampliar as possibilidades de simulação do modelo, contemplando configurações que poderiam resultar em melhor aproveitamento da capacidade instalada, sem comprometer os critérios de economicidade exigidos pela Administração Pública.

Assim, o objetivo dessas simulações adicionais foi aprofundar a análise quanto à capacidade do modelo de representar, com maior precisão, a dinâmica real do complexo produtivo em estudo, além de avaliar sua flexibilidade, robustez e aderência a diferentes configurações operacionais.

### **3.4.2 Simulação do Cenário 1**

Em virtude da quantidade de matéria-prima não utilizada no cenário real, o cenário 1 foi formulado com o objetivo de aproveitar integralmente o excedente de leite cru, de modo a evitar desperdícios, tendo em vista seu elevado grau de perecibilidade de tal insumo.

Para tanto, essa nova restrição foi incorporada ao modelo na ferramenta Excel Solver, na forma de uma equação que igualou o somatório da quantidade de leite utilizada na fabricação de cada laticínio com a quantidade de litros de leite disponível. Juntamente às demais restrições previamente definidas, permitiu avaliar os impactos da utilização total do insumo na redução dos custos operacionais do processo produtivo.

Dessa forma, neste primeiro cenário, a proposta semanal apresentada pelo suplemento Excel Solver foi de produzir 1292 iogurtes de morango de 900g, 861 iogurtes de ameixa de 900g, 1025 iogurtes de coco de 900g, 861 iogurtes integrais de 900g, 5 iogurtes de morango de 180g, 148 iogurtes de ameixa de 180g, 78 baldes de doce de leite de 13kg e 8497 leites pasteurizados tipo A. Tal produção demandaria a quantidade total de leite produzido, resultando no custo semanal de R\$158.246,62.

Percebe-se, portanto, que este cenário produziu 137 unidades a mais de iogurte de morango, 4547 unidades a mais de leite pasteurizado tipo A, 5 unidades a mais de iogurte de morango de 180g, 148 unidades a mais de iogurte de ameixa de 180g e 11 unidades a mais de baldes de doce de leite em comparação com o cenário base. Além disso, houve um aumento no consumo de leite para a totalidade disponível e um acréscimo no custo semanal de R\$55.470,90. Apesar da elevação do custo total, o cenário demonstra uma melhor utilização da matéria-prima disponível, evitando perdas associadas à perecibilidade do leite cru e aproveitando o excedente para ampliar a produção, sobretudo do leite pasteurizado, cuja fabricação exige menos insumos e menor tempo de processamento. A capacidade de armazenamento de tais produtos que a SLAT possui possibilita, também, a estocagem de tal excedente para suprir eventuais demandas da semana subsequente.

### **3.4.3 Simulação do Cenário 2**

No segundo cenário, optou-se por direcionar a utilização dos recursos disponíveis à fabricação do produto com menor custo unitário, identificado como o iogurte de ameixa na apresentação de 180g. Essa decisão foi fundamentada na intenção de manter a aderência ao princípio da economicidade, que orienta a busca pela obtenção dos melhores resultados com o menor dispêndio possível de recursos públicos. Além disso, a escolha está alinhada às diretrizes operacionais e normativas estabelecidas pela Secretaria de Economia, Finanças e Administração (SEFA), reforçando o compromisso da gestão com práticas produtivas eficientes e responsáveis.

Assim, essa nova restrição foi incorporada ao modelo na ferramenta Excel Solver, na forma de uma demanda que seria idealizada pelo gestor de produção da SLAT. Juntamente às demais restrições previamente definidas, permitiu avaliar os impactos da produção desse laticínio na redução das sobras de matéria-prima e de disponibilidade de mão de obra do complexo produtivo em questão.

Dessa forma, neste segundo cenário, a proposta semanal apresentada pelo suplemento Excel Solver foi de produzir 1155 iogurtes de morango de 900g, 861 iogurtes de ameixa de 900g, 1025 iogurtes de coco de 900g, 861 iogurtes integrais de 900g, 1465 iogurtes de ameixa de 180g, 67 baldes de doce de leite de 13kg e 3950 litros de leite pasteurizado tipo A. Tal produção demandaria a quantidade total de leite produzido, resultando no custo semanal de R\$106.599,37.

Percebe-se, portanto, que este cenário apresentou um acréscimo no custo semanal de R\$3.823,95. Apesar da elevação do custo total, a alternativa revelou-se eficaz na absorção dos recursos ociosos do sistema produtivo, ao direcionar a matéria-prima excedente e a capacidade de mão de obra disponível para a fabricação de um produto já existente no portfólio, cuja unidade apresenta o menor custo de produção. Dessa forma, o modelo preserva o princípio da economicidade ao evitar desperdícios e otimizar o uso dos insumos, sem a necessidade de criar novas linhas produtivas ou alterar significativamente a estrutura operacional da SLAT.

#### **3.4.4 Simulação do Cenário 3**

No terceiro cenário, optou-se por direcionar o recurso excedente à fabricação do produto com maior demanda registrada. Tal decisão fundamenta-se na capacidade da SLAT de realizar o armazenamento adequado dos produtos em câmaras frigoríficas específicas para cada tipo de lácteo, o que viabiliza o aproveitamento do leite cru disponível em uma semana para antecipar a produção destinada ao atendimento da demanda da semana subsequente. Nesse contexto, o leite pasteurizado tipo A, em embalagens de 1 litro, foi selecionado como produto-alvo por apresentar elevada rotatividade e relevância no consumo interno. A escolha permite não apenas a redução de perdas associadas à perecibilidade do leite cru, mas também assegura o abastecimento contínuo do produto, promovendo maior previsibilidade operacional e eficiência no planejamento da produção.

Com isso, essa nova restrição foi incorporada ao modelo na ferramenta Excel Solver, na forma de uma demanda que seria idealizada pelo gestor de produção da SLAT, respeitando a restrição de disponibilidade dos recursos e insumos necessários para a fabricação do leite

pasteurizado tipo A. Aliada às demais restrições previamente definidas, permitiu avaliar os impactos da produção desse laticínio na redução das sobras de matéria-prima e de disponibilidade de mão de obra do complexo produtivo em questão.

Dessa forma, neste outro cenário, a proposta semanal apresentada pelo suplemento Excel Solver foi de produzir 1155 iogurtes de morango de 900g, 861 iogurtes de ameixa de 900g, 1025 iogurtes de coco de 900g, 861 iogurtes integrais de 900g, 67 baldes de doce de leite de 13kg e 8649 litros de leite pasteurizado tipo A, 4699 litros a mais que a situação real. Tal produção resultaria no custo semanal de R\$159.087,20.

Em suma, percebe-se que este cenário apresentou um acréscimo no custo semanal de R\$56.311,48, que justifica-se na absorção dos recursos ociosos do sistema produtivo, ao direcionar a matéria-prima excedente e a capacidade de mão de obra disponível para a fabricação de um produto já existente no portfólio, cuja demanda destaca-se sobre a dos demais produtos.

#### **3.4.5 Simulação do Cenário 4**

Por fim, neste último cenário os recursos excedentes à fabricação foram alocados à fabricação do produto com menor nível de perecibilidade, uma vez que este poderá suprir demandas futuras por um período de tempo mais prolongado, evitando a possível perda causada pela deterioração. Nesse contexto, o balde de doce de leite de 13kg foi selecionado por apresentar maior prazo de validade. Tal cenário possibilita aproveitar o leite cru excedente, além de manter o abastecimento das organizações militares com este produto.

Assim, essa nova restrição foi incorporada ao modelo na ferramenta Excel Solver, na forma de uma demanda máxima da quantidade a ser produzida desse laticínio, respeitando a restrição de disponibilidade dos recursos e insumos necessários para a fabricação do leite pasteurizado tipo A. Juntamente às demais restrições já fixadas na situação real, permitiu avaliar os impactos da produção desse laticínio na redução das sobras de matéria-prima e de disponibilidade de mão de obra do complexo produtivo que é a SLAT.

Dessa forma, neste outro cenário, a proposta semanal apresentada pelo suplemento Excel Solver foi de produzir 1155 iogurtes de morango de 900g, 861 iogurtes de ameixa de 900g, 1025 iogurtes de coco de 900g, 861 iogurtes integrais de 900g, 82 baldes de doce de leite de 13kg e 3950 litros de leite pasteurizado tipo A. Tal produção resultaria no custo semanal de R\$110.350,72.

Em suma, percebe-se que este cenário apresentou um acréscimo no custo semanal de R\$7.575,00, que justifica-se na absorção dos recursos ociosos do sistema produtivo, ao direcionar a matéria-prima excedente e a capacidade de mão de obra disponível para a fabricação de um produto do portfólio cuja demanda destaca-se sobre a dos demais.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho reconheceu a aplicação da Programação Linear (PL) como ferramenta de apoio à decisão no processo produtivo da SLAT, pois proporciona benefícios significativos na tomada de decisão e na redução de custos, conforme preconiza o princípio da economicidade na Administração Pública. Além disso, a simulação de diferentes cenários demonstrou que a PL permite ao gestor explorar estratégias mais eficientes de alocação de recursos, como o aproveitamento integral da matéria-prima ou a priorização de itens com menor custo ou maior durabilidade. Com isso, respondendo a pergunta de pesquisa (quais seriam os benefícios do emprego da PL no planejamento de produção da SLAT), ficou evidente que o uso da PL contribui diretamente para o cumprimento do princípio da economicidade, ao promover uma gestão mais racional e estratégica dos insumos públicos, aumentando a efetividade do processo produtivo e fortalecendo a capacidade decisória da administração.

Para atender a esse propósito, foram estabelecidos objetivos de cunho geral e específicos a serem seguidos no decorrer da pesquisa. O objetivo geral foi alcançado por meio do desenvolvimento e aplicação de um modelo matemático baseado de PL, o qual permite simular diferentes configurações produtivas da SLAT, respeitando as restrições operacionais e fornecendo soluções otimizadas para a minimização de custos. Os objetivos específicos foram atendidos com base em um conjunto de procedimentos metodológicos adotados ao longo da pesquisa. Inicialmente, realizou-se a coleta de dados técnicos e operacionais junto à SLAT, incluindo a análise de receitas, termos de referência, demandas semanais registradas e tempo de execução de cada etapa produtiva. A partir disso, foram mapeadas variáveis como custos unitários, consumo de insumos, disponibilidade de matéria-prima e capacidade de operação por posto de trabalho.

Com esses dados, procedeu-se à formulação do modelo matemático estruturado em função objetivo e restrições lineares, sendo este implementado no software Excel por meio do suplemento Solver. A modelagem considerou as limitações reais da unidade, inclusive nos casos de

simultaneidade de etapas, em que foram adotados os tempos de maior duração conforme orientação da Pesquisa Operacional. Por fim, o modelo foi aplicado a diferentes cenários: um baseado na produção mínima obrigatória e outros simulando estratégias alternativas de uso integral da matéria-prima ou priorização de determinados produtos. Tais simulações permitiram identificar a combinação ótima de itens a serem fabricados semanalmente, com base na minimização de custos e no atendimento às restrições operacionais e logísticas da FAYS.

Após a implementação do modelo matemático no Excel Solver, observou-se que a solução ótima indicava a produção exata das quantidades mínimas demandadas pelas organizações militares abastecidas, resultando em um custo semanal de R\$102.775,72. A partir disso, foram simulados novos cenários com o intuito de avaliar o aproveitamento do leite cru excedente e da capacidade instalada. Os resultados mostraram que é possível realocar os recursos de forma estratégica, seja priorizando o produto com menor custo unitário, ou aquele com maior demanda, a depender da diretriz adotada pelo gestor. Essas simulações evidenciam a flexibilidade do modelo e sua aplicabilidade prática, não apenas para reduzir custos, mas também para otimizar a produção de acordo com diferentes objetivos administrativos.

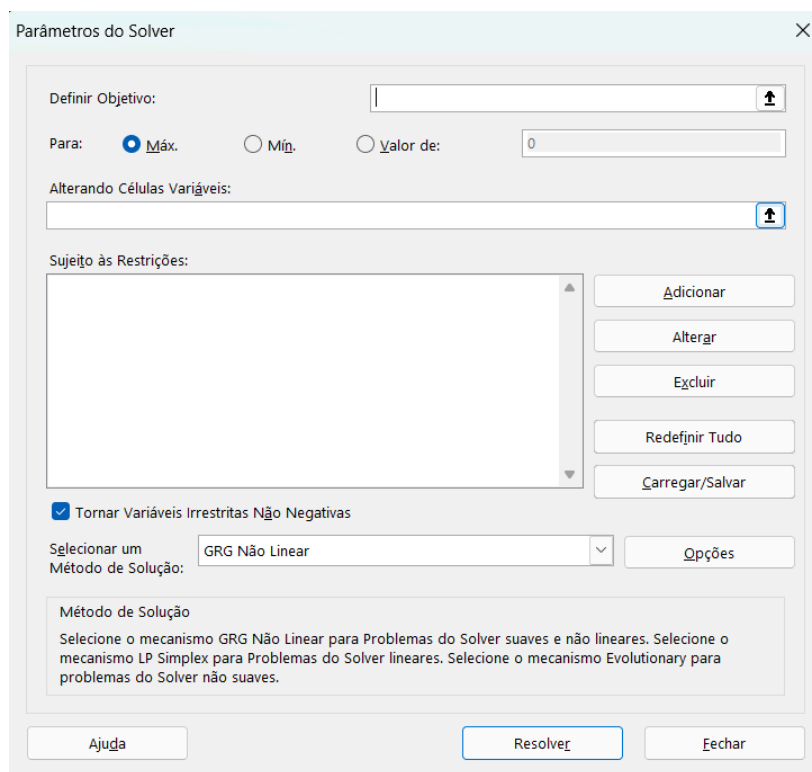
As implicações desses resultados são relevantes tanto para o campo acadêmico quanto para a gestão pública. No aspecto científico, o trabalho reforça a viabilidade da utilização da PL como metodologia de apoio à tomada de decisão em sistemas produtivos públicos, ainda pouco explorados na literatura em comparação ao setor privado. O presente trabalho demonstrou, no que se refere ao uso da PL, a aplicabilidade dos conceitos apresentados no referencial teórico como ferramenta de apoio à decisão e otimização de processos produtivos. As contribuições teóricas de autores como Bau Dal Magro et al. (2015), Stacanelli et al. (2015) e Cirilo et al. (2022), que evidenciam os benefícios da PL na indústria de laticínios, foram corroboradas pelos resultados obtidos na SLAT, mesmo em um contexto de administração pública. Assim como nos estudos analisados, observou-se que a modelagem matemática permitiu uma alocação mais eficiente dos recursos disponíveis e maior previsibilidade no planejamento produtivo. Dessa forma, o trabalho validou empiricamente as premissas teóricas, reforçando a relevância da PL como instrumento capaz de elevar a racionalidade e a economicidade na gestão pública.

Sob a perspectiva da Força Aérea Brasileira, especificamente, o presente artigo contribui como uma proposta concreta para racionalizar os processos da SLAT, aumentando a efetividade na gestão dos insumos e alinhando-se às metas de eficiência fixadas pela SEFA. Outrossim, o modelo

poderá ser ajustado futuramente para incorporar variáveis como custo de capacidade ociosa e critérios de perecibilidade, o que permitiria uma análise ainda mais robusta do processo produtivo.

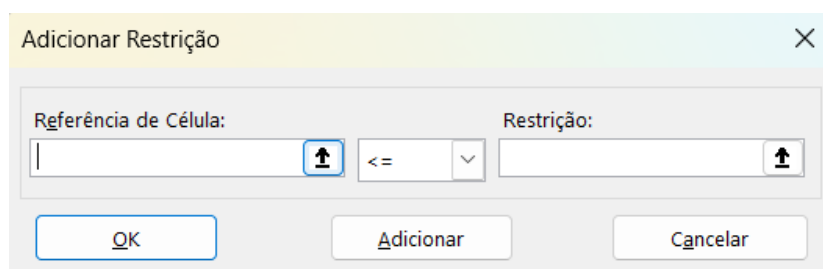
Por fim, sugere-se que pesquisas futuras explorem a aplicação de modelos mais complexos, como Programação Linear Inteira ou Programação Multicritério, incluindo parâmetros qualitativos na tomada de decisão, como a estabilidade da produção ao longo do tempo. Tais avanços podem ampliar o escopo de aplicação da PO na administração pública, consolidando-a como ferramenta estratégica para a otimização de processos em organizações militares.

## APÊNDICE A – UTILIZAÇÃO DO EXCEL SOLVER



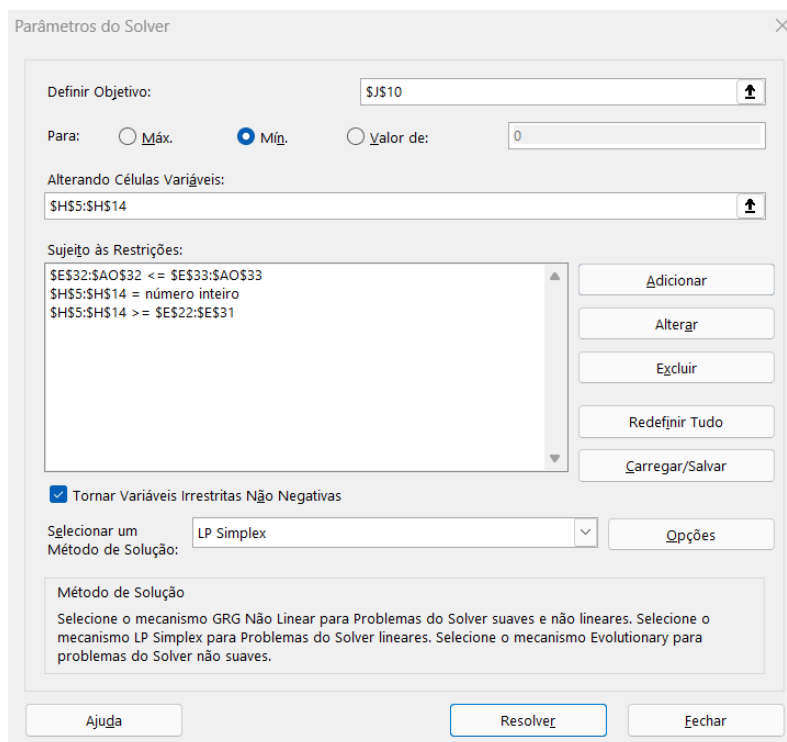
**Figura 1** Caixa de diálogo da ferramenta Solver do Excel para a introdução dos dados do problema.

Fonte: Adaptado de Lapponi (2008).



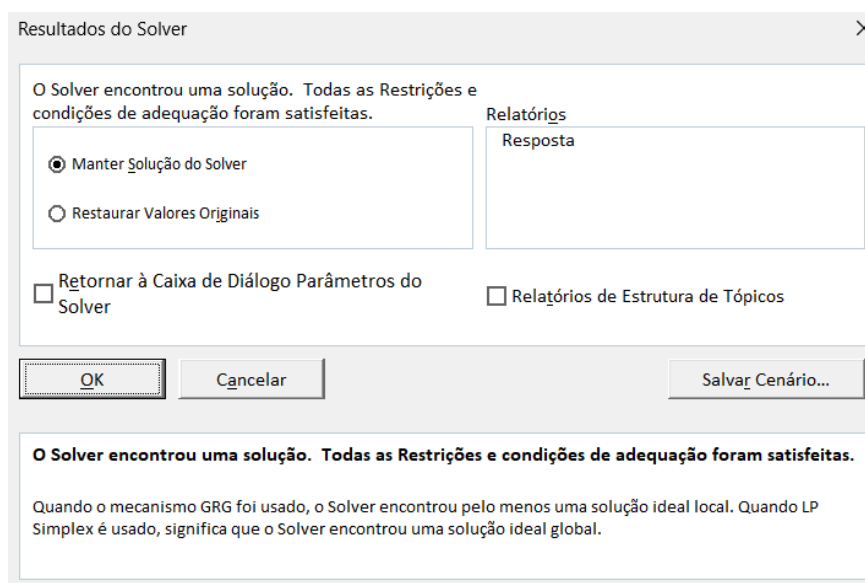
**Figura 2** Caixa de diálogo da ferramenta Solver do Excel para a introdução dos dados do problema.

Fonte: Adaptado de Lapponi (2008).



**Figura 3** Caixa de diálogo da ferramenta Solver do Excel com todos os dados do problema já inseridos

Fonte: Adaptado de Lapponi (2008).



**Figura 4** Caixa de diálogo do Solver com a opção de relatório de saída

Fonte: Adaptado de Lapponi (2008).

## APÊNDICE B – RELATÓRIO DE RESPOSTAS DE APLICAÇÃO DO MODELO À REALIDADE

#

Planilha: [PLANILHA UTILIZADA REALMENTE NO TCC.xlsx]Planilha 1

Relatório Criado: 03/07/2025 10:08:26

Resultado: O Solver encontrou uma solução. Todas as Restrições e condições de adequação foram satisfeitas.

Mecanismo do Solver

Mecanismo: LP Simplex

Tempo da Solução: 0,062 Segundos.

Iterações: 0 Subproblemas: 0

Opções do Solver

Tempo Máx. Ilimitado, Iterações Ilimitado, Precisão 0,000001, Usar Escala Automática

Subproblemas Máx. Ilimitado, Soluç. Máx. Núm. Inteiro Ilimitado, Tolerância de Número Inteiro 1%, Assumir Não Negativo

Célula do Objeto (Mín.)

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final
\$J\$10	X <sub>9</sub> CUSTO TOTAL:	0	102775,72

Células Variáveis

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final	Número Inteiro
\$H\$5	X <sub>1</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	0	1155	Número Inteiro
\$H\$6	X <sub>2</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	0	861	Número Inteiro
\$H\$7	X <sub>3</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	0	1025	Número Inteiro
\$H\$8	X <sub>4</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	0	861	Número Inteiro
\$H\$9	X <sub>5</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	0	0	Número Inteiro
\$H\$10	X <sub>6</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	0	0	Número Inteiro
\$H\$11	X <sub>7</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	0	0	Número Inteiro
\$H\$12	X <sub>8</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	0	0	Número Inteiro
\$H\$13	X <sub>9</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	0	67	Número Inteiro
\$H\$14	X <sub>10</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	0	3950	Número Inteiro

Restrições

Célula	Nome	Valor da Célula	Fórmula	Status	Margem de Atraso
\$E\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA DEMANDA SEMANAL (UNIDADE)	0	\$E\$32<=\$E\$33	Associação	0
\$F\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA capacidade de envase semanal (unidades)	0	\$F\$32<=\$F\$33	Não-associação	44
\$G\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA SORBATO DE POTÁSSIO (kg)	0,00134	\$G\$32<=\$G\$33	Não-associação	4,79866
\$H\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA BICARBONATO DE SÓDIO (kg)	0,00067	\$H\$32<=\$H\$33	Não-associação	1,14933
\$I\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA AÇÚCAR CRISTAL (KG)/ UNIDADE	428,8	\$I\$32<=\$I\$33	Não-associação	100,046
\$J\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA ESTABILIZANTE (KG)	3,902	\$J\$32<=\$J\$33	Não-associação	3,309
\$K\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA PROTEÍNA LÁCTEA (KG)	3,55082	\$K\$32<=\$K\$33	Não-associação	3,64918
\$L\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA FERMENTO BV (KG)	0,109256	\$L\$32<=\$L\$33	Não-associação	5,650744
\$M\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA POLPA DE MORANGO(kg)	53,13	\$M\$32<=\$M\$33	Não-associação	34,37
\$N\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA POLPA DE AMEIXA(kg)	39,606	\$N\$32<=\$N\$33	Não-associação	19,047
\$O\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA POLPA DE COCO(kg)	47,15	\$O\$32<=\$O\$33	Não-associação	39,388
\$P\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA AROMA DE MORANGO(ml)	0,84315	\$P\$32<=\$P\$33	Não-associação	7691,15685
\$Q\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA AROMA DE AMEIXA(ml)	0,62853	\$Q\$32<=\$Q\$33	Não-associação	6729,37147
\$R\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA AROMA DE COCO(ml)	0,74825	\$R\$32<=\$R\$33	Não-associação	7691,25175
\$S\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA CORANTE de MORANGO (ml)	0,63525	\$S\$32<=\$S\$33	Não-associação	1152,36475
\$T\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA CORANTE DE AMEIXA (ml)	0,1722	\$T\$32<=\$T\$33	Não-associação	2883,8278
\$U\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA AÇÚCAR REFINADO (kg)	319,1836	\$U\$32<=\$U\$33	Não-associação	161,5854
\$V\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA LEITE (l)	9522,62	\$V\$32<=\$V\$33	Não-associação	5087,63
\$W\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA TEMPO DISP- PASTEURIZAÇÃO DO LEITE	4,76131	\$W\$32<=\$W\$33	Não-associação	39,23869
\$X\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp - envase do leite	3,95000	\$X\$32<=\$X\$33	Não-associação	35,28869
\$Y\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA TEMPO DISP PARA COLOCAR LEITE PASTEURIZADO E GALÕES DE 50L	1,763157895	\$Y\$32<=\$Y\$33	Não-associação	37,4753211
\$Z\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp- preparo doce de leite	10,57894737	\$Z\$32<=\$Z\$33	Não-associação	26,89658474
\$AA\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp - envase do DOCE DE LEITE	1,763157895	\$AA\$32<=\$AA\$33	Não-associação	25,13342684
\$AB\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp- preparo da base do iogurte 900G	0,010580689	\$AB\$32<=\$AB\$33	Não-associação	39,22810931
\$AC\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp- preparo da base do iogurte 180G	0	\$AC\$32<=\$AC\$33	Não-associação	39,23869
\$AD\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp- fermentação 900G	25,2	\$AD\$32<=\$AD\$33	Não-associação	118,7894193
\$AE\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp- fermentação 180G	0	\$AE\$32<=\$AE\$33	Não-associação	144
\$AF\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp- adição do sabor-900G	3,15	\$AF\$32<=\$AF\$33	Não-associação	36,07810931
\$AG\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp- adição do sabor-180G	0	\$AG\$32<=\$AG\$33	Não-associação	39,23869
\$AH\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp - envase do IOGURTE MORANGO 180G	0,00000	\$AH\$32<=\$AH\$33	Não-associação	39,23869
\$AI\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp - envase do COCO 180G	0	\$AI\$32<=\$AI\$33	Não-associação	39,23869
\$AJ\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp - envase do IOGURTE AMEIXA 180G	0	\$AJ\$32<=\$AJ\$33	Não-associação	39,23869
\$AK\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp - envase do IOGURTE INTEGRAL 180G	0	\$AK\$32<=\$AK\$33	Não-associação	39,23869
\$AL\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp - envase do IOGURTE MORANGO 900G	4,2	\$AL\$32<=\$AL\$33	Não-associação	31,87810931
\$AM\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp - envase do IOGURTE AMEIXA 900G	3,727272727	\$AM\$32<=\$AM\$33	Não-associação	32,35083658
\$AN\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp - envase do IOGURTE COCO 900G	3,130909091	\$AN\$32<=\$AN\$33	Não-associação	32,94720022
\$AO\$32	QUANTIDADE TOTAL UTILIZADA tempo disp - envase do IOGURTE INTEGRAL 900G	3,130909091	\$AO\$32<=\$AO\$33	Não-associação	32,94720022
\$H\$5	X <sub>1</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	1155	\$H\$5>=\$E\$22	Associação	0
\$H\$6	X <sub>2</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	861	\$H\$6>=\$E\$23	Associação	0
\$H\$7	X <sub>3</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	1025	\$H\$7>=\$E\$24	Associação	0
\$H\$8	X <sub>4</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	861	\$H\$8>=\$E\$25	Associação	0
\$H\$9	X <sub>5</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	0	\$H\$9>=\$E\$26	Associação	0
\$H\$10	X <sub>6</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	0	\$H\$10>=\$E\$27	Associação	0
\$H\$11	X <sub>7</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	0	\$H\$11>=\$E\$28	Associação	0
\$H\$12	X <sub>8</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	0	\$H\$12>=\$E\$29	Associação	0
\$H\$13	X <sub>9</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	67	\$H\$13>=\$E\$30	Associação	0
\$H\$14	X <sub>10</sub> QUANTIDADE A PRODUZIR	3950	\$H\$14>=\$E\$31	Associação	0
\$H\$5:\$H\$14	Número Inteiro				

## REFERÊNCIAS

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional: para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.

BARELLA, R. C. F.; SOUZA, C. C.; REIS NETO, J. F.; MALDONADO, S.; RODRIGUES, W. O. P. **Otimização da Produção de Queijos Usando a Ferramenta Solver do Excel**. Revista UNICIÊNCIAS, v. 24, n. 2, p. 124-129, 2020.

BAU DAL MAGRO, C.; PICOLO, J. D.; ZONATTO, V. C. da S.; CARLI, S. Benedito. **Análise do mix de produção para maximização da lucratividade em produção conjunta: um caso na indústria de lácteos**. Anais do Congresso Brasileiro de Custos - ABC, [S. l.], Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/4049>. Acesso em: 13 set. 2024.

BONNEY, M.. *Reflections on production planning and control (PPC)*. **Gestão & Produção**, v. 7, p. 181-207, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 5, de 14 de fevereiro de 2017. **Institui o Sistema de Informações Gerenciais do Serviço de Inspeção Federal – SIGSIF**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 15 fev. 2017. Disponível em: [https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/20825206/do1-2017-02-15-instrucao-normativa-n-5-de-14-de-fevereiro-de-2017-20825170](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/20825206/do1-2017-02-15-instrucao-normativa-n-5-de-14-de-fevereiro-de-2017-20825170). Acesso em: 02 março 2025.

BRASIL. Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021. Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1º abr. 2021.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Fazenda da Aeronáutica de Pirassununga. **Termo de Referência: contratação de serviços agroindustriais com dedicação exclusiva de mão de obra – trabalhadores da Kantro**. Pirassununga, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/compras/pt-br/aceso-a-informacao/consulta-detalhada>. Acesso em: 2 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Fazenda da Aeronáutica de Pirassununga. Plano Agroindustrial da Fazenda da Aeronáutica de Pirassununga. **Boletim do Comando da Aeronáutica nº 233**, Pirassununga, 13 dez. 2023.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Fazenda de Aeronáutica de Pirassununga. **Termo de Referência nº 4/2023: aquisição de insumos para produção industrial da FAYS**. Pirassununga, 2023. 36 p. Disponível em: <https://www.gov.br/compras/pt-br/aceso-a-informacao/consulta-detalhada>. Acesso em: 2 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Fazenda da Aeronáutica de Pirassununga. **Relatório técnico nº 01/FAYS/2024: apresentação da apuração de custo-histórico 2023 dos ativos produzidos pela Fazenda da Aeronáutica de Pirassununga**. Pirassununga, 27 ago. 2024.

COMANDO DA AERONÁUTICA. Programa de Autocontrole PAC 09. Fazenda da Aeronáutica de Pirassununga, **Boletim do Comando da Aeronáutica nº 233**, Pirassununga, 2023.

CIRILO, M. A. S.; LIMA, R. H. P.; LEAL, G. C. L.; EMIDIO, J. A.; MADRONA, G. S. **Um modelo de Programação Linear Inteira para apoiar a decisão de plano mestre de produção em uma empresa de laticínio no interior do estado do Paraná**. Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, João Pessoa, v. 60, n. 3, p. 797-818, jul. 2023. ISSN 2447-9187. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/6371>. Acesso em: 22 set. 2024.

COSTA, M. A. B. **Pesquisa operacional aplicada à Agroindústria**. In BATALHA, M.O (Coord.). Gestão Agroindustrial. V. 2. São Paulo: Atlas, 1997

DANTZIG, G. B. **Linear Programming and Extensions**. Princeton: Princeton University Press, 1963.

DE MENEZES, I. L.; RODRIGUES, L. O. C.; FARIA, C. L.; FERREIRA, M. K. S. O.; MELO, B. L. T. **Determinação do mix de produto via programação linear: estudo de caso de um laticínio na cidade de Bambuí–MG**. Gestão da Produção em Foco, Belo Horizonte, v. 18, p. 35-42, 2018.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (org). **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2017. LÜDKE, M.; ANDRÉ, M.E.D.A. Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986.

GOMES JUNIOR, A. C.; SOUZA, M. J. F. **Solver (Excel): Manual de Referência**. UFOP, 2004.

HELTON, J. C.; DAVIS, F. J. *Latin Hypercube Sampling and the Propagation of Uncertainty in Analyses of Complex Systems*. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 81, n. 1, p. 23-69, 2003.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. Tradução Ariovaldo Griesi; revisão técnica João Chang Junior. São Paulo: McGraw-Hill, 2013.

LAPPONI, J.C. **Modelagem Financeira com Excel e VBA**. São Paulo: Campus, 2008.

MANSILHA, M. B.; FARRET, F. A.; KULLMANN, D. H. *Linear Programming: Simplex Method and software OTIMIZA*. **Revista Espacios**, v. 38, n. 60, p. 4-18, agosto, 2017. eISSN: 2739-0071. Disponível em: <https://revistaespacios.com/a17v38n60/a17v38n60p04.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. V. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

MARTINS, F. A. S.. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2011.

OLIVEIRA, R. L.; FAGUNDES, L. D.; LIMA, R. S.; MONTAÑO, M. *Discrete event simulation to aid decision-making and mitigation in solid waste management*. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 25, p. 67-85, 2020.

PEREIRA, V. B.. **O princípio da economicidade no âmbito das licitações públicas**. *Contabilidade & Amazônia*, v. 1, n. 1, p. 91- 97, 2012.

SASAKI, L. M. K.. **Definição do mix de produção ótimo do laboratório de processamento de leite do IFMG-Campus Bambuí por meio da programação linear**. Repositório da Universidade Federal de Itabujá, 2021.

SOUTO-MAIOR, C. D.. **Pesquisa Operacional**. 3. ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2014.

STACANELLI, T. M.; MOURA, R. A.; SILVA, Y. V. B.; SILVA, G.; SILVA, A. M.. Aplicação da programação linear para a otimização da produção em um laticínio localizado na região centro-oeste de Minas Gerais. **XXXV encontro nacional de engenharia de produção**, Fortaleza CE. Disponível em: [www.abepro.org.br/publicacoes/index.asp?ano=2015&area=211&pchave=&autor=](http://www.abepro.org.br/publicacoes/index.asp?ano=2015&area=211&pchave=&autor=). Acesso em: 2 ago. 2024.

TOMASKO, R. M. **Downsizing: reformulando e redimensionando sua empresa para o futuro**. São Paulo: Makron Books, 1992.

VANDERBEI, R. J. **Linear programming: foundations and extensions**. 4. ed. New York: Springer, 2001.