



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

JOESER SOARES DE CARVALHO, Cap Int

**Programação Linear para Maximização de Receita na Produção de Laticínios: estudo
aplicado à Fazenda de Aeronáutica de Pirassununga**

Rio de Janeiro

2025

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

JOESER SOARES DE CARVALHO, Cap Int

Programação Linear para Maximização de Receita na Produção de Laticínios: estudo
aplicado à Fazenda de Aeronáutica de Pirassununga

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da
Aeronáutica como requisito parcial para
aprovação no Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu*
em Liderança com Ênfase em Gestão no
COMAER.

Linha de Pesquisa: Gestão Institucional

Orientador: Thiago Silva dos Santos, Maj Int

Rio de Janeiro

2025

JOESER SOARES DE CARVALHO, Cap Int

Programação Linear para Maximização de Receita na Produção de Laticínios: estudo aplicado à Fazenda de Aeronáutica de Pirassununga

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Presidente, Edivaldo Pires de Figueiredo, Cel Esp Sup Tec - EAOAR

Thiago Silva dos Santos, Maj Int - EAOAR

Rio de Janeiro

2025

RESUMO

A Fazenda de Aeronáutica de Pirassununga (FAYS) possui um setor de laticínios com papel relevante na geração de receita e no cumprimento de sua missão institucional. No entanto, a ausência de uma programação formal e otimizada da produção compromete a utilização eficiente dos recursos e a maximização do faturamento. Diante disso, este ensaio defende que a aplicação de um modelo matemático de programação linear é capaz de elevar a rentabilidade da operação, por meio da alocação inteligente dos recursos disponíveis. O primeiro argumento sustenta que a definição de uma função objetivo voltada à maximização da receita permite identificar a combinação ótima de produtos a serem fabricados, orientando a produção para os itens que oferecem maior retorno financeiro proporcional ao uso dos insumos. O segundo argumento destaca que a análise de sensibilidade amplia a flexibilidade e a precisão na tomada de decisão, permitindo simular variações nos parâmetros do modelo e identificar limites seguros de operação sem perda de rentabilidade. Como parecer, entende-se que essa abordagem pode ser replicada em outras Unidades da Força Aérea que enfrentam desafios semelhantes na busca por soluções ótimas que ofereçam maior retorno, tornando-se um instrumento estratégico para elevar a eficácia na gestão de recursos, reduzir a dependência de soluções externas e gerar mais receitas para a Força, como demonstrado no caso da FAYS, o que contribui diretamente para mitigar os efeitos das restrições orçamentárias que impactam toda a Força Aérea.

Palavras-chave: programação linear; otimização da produção; gestão de recursos; laticínios.

1 INTRODUÇÃO

A Fazenda de Aeronáutica de Pirassununga (FAYS) é uma Organização Militar do Comando da Aeronáutica (COMAER), cuja missão institucional inclui a ocupação produtiva das áreas sob sua responsabilidade por meio de atividades agroindustriais e o suprimento às Organizações Militares do COMAER de gêneros alimentícios oriundos de sua produção ou beneficiamento. Entre essas atividades desenvolvidas pela Unidade, destaca-se a produção de laticínios, desenvolvida por meio de setor específico com foco na fabricação de itens como leite, iogurtes, doce de leite e queijos os quais representam a maior parte da produção diária da Fazenda. Essa produção contribui não apenas para o abastecimento interno, mas também para a geração de receita, reforçando a sustentabilidade da Unidade e o cumprimento de seus objetivos estratégicos.

Apesar da relevância desse setor, observa-se que a FAYS não adota atualmente um modelo estruturado de programação da produção que maximize o aproveitamento de seus recursos produtivos. A ausência de planejamento quantitativo compromete a capacidade da Unidade de alcançar maior rentabilidade, eficiência operacional e previsibilidade nas decisões. Em contextos industriais e agroindustriais similares, a aplicação de modelos matemáticos baseados em programação linear tem se mostrado eficaz para otimizar a produção e racionalizar a alocação de recursos escassos, como demonstram estudos de caso no setor de laticínios que foram utilizados neste trabalho como composição do referencial teórico.

Diante desse cenário, este ensaio defende a tese de que a aplicação de um modelo matemático de programação linear à produção de laticínios da Fazenda de Aeronáutica é capaz de elevar significativamente sua rentabilidade, por meio da maximização da receita com base na alocação mais eficiente dos recursos.

O primeiro argumento sustenta que a definição de uma função objetivo voltada à maximização da receita permite identificar a combinação ótima de produtos a serem fabricados, orientando a produção para os itens que oferecem maior retorno financeiro proporcional ao uso dos insumos. Essa abordagem, além de garantir maior eficiência econômica, assegura que a maximização da receita ocorra dentro dos limites operacionais definidos pelas restrições do sistema produtivo. O segundo argumento complementa essa lógica ao destacar que, além de otimizar o plano de produção, a programação linear oferece recursos para a realização de análises de sensibilidade, que ampliam a flexibilidade e a precisão na tomada de decisão, permitindo avaliar como alterações nos parâmetros do modelo, como preços de venda ou disponibilidade de recursos, impactam o resultado ótimo. Essa capacidade é especialmente útil

para apoiar decisões em cenários de incerteza ou mudança, como por exemplo a possibilidade de reduzir o preço de um produto para melhor atender ao consumidor final sem comprometer a rentabilidade global, ou ajustar a alocação de insumos escassos com mais flexibilidade. Dessa forma, a ferramenta amplia a segurança e a adaptabilidade do processo decisório, contribuindo para uma gestão mais estratégica e responsiva à realidade operacional da FAYS.

2 DESENVOLVIMENTO

A otimização da produção em organizações com recursos limitados, como a Fazenda de Aeronáutica de Pirassununga, demanda a implementação de metodologias de planejamento que maximizem a eficiência no uso dos recursos disponíveis. Nesse cenário, a programação linear se destaca como uma ferramenta eficaz para definir o plano de produção ótimo, equilibrando o objetivo de maximização da receita com as restrições operacionais existentes (Hillier; Lieberman, 2006, cap. 3). A aplicação dessa abordagem já foi observada com resultados positivos no setor de laticínios, como mostra o estudo de Lima (2017), que evidenciou a definição de um plano de produção mais eficiente a partir da modelagem baseada em programação linear. De forma semelhante, pesquisas como a de Jandrić *et al.* (2024) abordam a otimização de processos produtivos na cadeia do leite, com foco na maximização do lucro e na estrutura de produção. Complementando esse panorama, Moura (2016) destaca a importância da alocação racional de recursos na gestão da produção, reforçando o valor de metodologias que favoreçam a tomada de decisão baseada em dados e restrições do sistema. As subseções a seguir detalham como dois aspectos fundamentais da programação linear, sendo eles a definição da função objetivo e a análise de sensibilidade, atuam de forma complementar para promover, respectivamente, a identificação da combinação ótima de produção e a flexibilização do processo decisório.

2.1 MAXIMIZAÇÃO DA RECEITA COMO FUNÇÃO OBJETIVO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR

Na formulação de um modelo de programação linear, a função objetivo representa o elemento central do sistema matemático, pois é a equação que determina qual valor será maximizado ou minimizado dentro de um conjunto de possibilidades viáveis (Hillier; Lieberman, 2006, cap. 3). No contexto da Fazenda de Aeronáutica de Pirassununga (FAYS), a escolha da maximização da receita como objetivo do modelo reflete a intenção de direcionar a

produção para a combinação de produtos que gere o maior retorno financeiro possível, respeitando os limites operacionais impostos pelas restrições do sistema, como disponibilidade de leite, capacidade dos equipamentos e força de trabalho.

A função objetivo é composta por variáveis de decisão – neste caso, as quantidades de cada tipo de produto lácteo a serem fabricadas – e por coeficientes associados a essas variáveis, que representam os preços de venda unitários dos respectivos produtos (Lachtermacher, 2016). Dessa forma, ao resolver o modelo, obtém-se a combinação ótima de produção, ou seja, aquela que gera a maior receita total sem extrapolar os limites operacionais definidos nas restrições. Para a FAYS, essa abordagem representa um avanço em relação à tomada de decisão tradicional, pois substitui a intuição e a experiência empírica por uma metodologia científica, baseada em critérios objetivos e replicáveis.

Essa maximização da receita não se resume a simplesmente produzir mais, mas a produzir estrategicamente, priorizando os itens com maior retorno proporcional ao uso dos recursos. Em outras palavras, trata-se de encontrar o ponto ótimo de produção, em que a combinação dos produtos fabricados permite o melhor aproveitamento possível de insumos como leite cru, tempo de processamento, mão de obra e capacidade dos equipamentos. Isso contribui para reduzir desperdícios, aumentar a eficiência global do sistema produtivo e reforçar a sustentabilidade financeira da Unidade.

Estudos como o de Lima (2017) demonstram a viabilidade da aplicação de modelos com função objetivo de maximização da receita em laticínios, evidenciando os ganhos em planejamento e faturamento. De maneira semelhante, Jandrić *et al.* (2024) exploram modelos matemáticos para identificar estruturas de produção mais lucrativas e robustas, mesmo sob condições de incerteza, destacando o papel da função objetivo como orientadora de decisões estratégicas. Já Vaz *et al.* (2024) apresentam um modelo de planejamento de produção baseado em programação linear aliado a técnicas de inteligência artificial, enfatizando como a função objetivo pode ser adaptada para diferentes contextos industriais e níveis de complexidade.

Além do embasamento teórico e dos benefícios conceituais, há também a viabilidade técnica de implementação. A formulação da função objetivo em muitos casos é relativamente simples, o que favorece a aplicação prática da programação linear mesmo por profissionais sem formação matemática especializada. Ferramentas como o Solver do Excel, um recurso utilizado para resolver problemas de otimização por meio da modelagem de programação linear, foram empregadas no estudo de Barella *et al.* (2020) para a otimização da produção de queijos. Para problemas mais complexos, é possível recorrer a ambientes computacionais como o Jupyter Notebook, plataforma interativa que favorece o desenvolvimento e a documentação de modelos

matemáticos, com o uso de linguagens como Python, reconhecida por sua ampla aplicação em operações de otimização, e solucionadores como Gurobi, um software com capacidade robusta para promover a resolução eficiente de modelos matemáticos complexos, proporcionando maior escalabilidade, personalização e integração com bancos de dados produtivos, o que amplia significativamente o potencial de aplicação do modelo na realidade das Organizações Militares.

Assim, a definição de uma função objetivo voltada à maximização da receita representa, para a Fazenda de Aeronáutica, um caminho estratégico para orientar a produção com base em critérios econômicos concretos, conferindo maior previsibilidade, racionalidade e eficiência à tomada de decisão. Essa abordagem consolida a base teórica do primeiro argumento apresentado neste ensaio, sustentando a tese de que a programação linear pode elevar de forma significativa a rentabilidade da Unidade.

2.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE E A FLEXIBILIDADE DECISÓRIA NA PROGRAMAÇÃO LINEAR

A análise de sensibilidade é um recurso complementar à programação linear que amplia a capacidade de decisão gerencial, especialmente em ambientes produtivos sujeitos à variabilidade de insumos, preços ou demanda. Trata-se de uma etapa posterior à resolução do modelo que permite avaliar o impacto de variações nos parâmetros do sistema, como os coeficientes da função objetivo — representando preços de venda ou lucros unitários — e os limites das restrições, sobre a solução ótima. No contexto da FAYS, essa análise é valiosa para adaptar o plano de produção a mudanças nas condições operacionais sem comprometer a rentabilidade da Unidade.

Entre os principais conceitos associados à análise de sensibilidade está o preço sombra, que indica o valor adicional gerado na função objetivo para cada unidade a mais de um recurso escasso. Em outras palavras, esse indicador revela o quanto a receita máxima pode crescer ao se ampliar a disponibilidade de determinado insumo. Além disso, a análise permite identificar os intervalos dentro dos quais os coeficientes da função objetivo ou os limites das restrições podem variar sem alterar a solução ótima. Essa capacidade de antecipação e ajuste é fundamental para a gestão de unidades produtivas militares que operam sob limitações de recursos e necessidade de previsibilidade.

Conforme demonstrado por Lima (2017), a análise de sensibilidade foi aplicada na avaliação do desempenho de um laticínio, revelando que, para certas restrições, o preço sombra

indicava que seu aumento não impactaria o valor ótimo da função objetivo, enquanto outras restrições apresentavam variação direta na margem de contribuição, evidenciando oportunidades de ajuste com ganhos mensuráveis. Em estudo semelhante, Barella *et al.* (2020) utilizaram a ferramenta Solver do Excel para gerar relatórios de sensibilidade na produção de queijos, identificando a disposição a pagar por insumos adicionais para ampliar a margem de lucro sem violar as restrições de produção.

Na prática, esse tipo de análise possibilita, por exemplo, que a FAYS reduza o preço de determinados produtos para atender melhor ao público sem comprometer a receita máxima, desde que a alteração permaneça dentro da faixa de sensibilidade do modelo. De forma semelhante, é possível realocar recursos entre diferentes etapas do processo produtivo com base nos preços sombra, priorizando os fatores que mais influenciam no desempenho econômico da Unidade. Kawano (2013) corrobora essa abordagem ao demonstrar que a análise de sensibilidade aplicada à indústria de laticínios oferece suporte para decisões mais estratégicas e sustentáveis, especialmente em cenários de restrição de recursos e busca por eficiência energética e econômica.

Segundo Hillier e Lieberman (2006, cap. 4), a análise de sensibilidade fornece uma visão mais robusta da solução ótima, permitindo simular cenários com segurança e avaliar quais variáveis têm maior impacto sobre os resultados. Conforme apontado por Lachtermacher (2016), essa ferramenta favorece uma gestão menos empírica e mais fundamentada em dados, reduzindo o risco de decisões equivocadas em ambientes produtivos complexos. Na mesma linha, Vaz *et al.* (2024) reforçam que a incorporação de informações operacionais em modelos de otimização permite decisões mais alinhadas à realidade das organizações.

Mesmo com ferramentas acessíveis, como o Solver do Excel, já é possível extrair dados relevantes de análise de sensibilidade para orientar ajustes produtivos com base em critérios objetivos. Isso reforça a aplicabilidade da técnica na FAYS, permitindo sua implementação gradual com os recursos disponíveis e a equipe técnica local. A capacidade de atualizar o modelo periodicamente também representa um diferencial importante, permitindo à Unidade reagir com agilidade a variações externas, como mudanças na produção de leite ou nos custos dos insumos.

Portanto, a análise de sensibilidade reforça o valor da programação linear ao oferecer não apenas uma solução ótima inicial, mas também uma margem de flexibilidade para decisões futuras, sustentadas por dados concretos. No contexto da Fazenda de Aeronáutica, essa capacidade representa um diferencial estratégico para aprimorar a eficiência da produção de laticínios e garantir maior controle sobre os resultados, mesmo em cenários de incerteza ou

mudanças operacionais que venham a ocorrer devido a restrições sistêmicas ou por determinação de novas políticas de produção que venham a ser necessárias para a adequação à demanda das Unidades consumidoras.

3 CONCLUSÃO

Este ensaio partiu da constatação de que a produção de laticínios da Fazenda de Aeronáutica de Pirassununga (FAYS), apesar de sua importância institucional e potencial econômico, carece de um modelo formal de planejamento que maximize o aproveitamento dos recursos produtivos. Essa lacuna compromete tanto a eficiência operacional quanto a capacidade da Unidade de gerar receita, especialmente em um contexto de restrições orçamentárias.

Diante dessa situação-problema, defendeu-se a tese de que a aplicação de um modelo matemático de programação linear pode elevar significativamente a rentabilidade da Fazenda de Aeronáutica, por meio da definição de um plano de produção que maximize a receita com base na alocação eficiente dos recursos disponíveis.

O primeiro argumento sustentou que a definição de uma função objetivo voltada à maximização da receita permite identificar a combinação ótima de produtos a serem fabricados, priorizando aqueles com maior retorno financeiro proporcional ao uso dos insumos, dentro das restrições operacionais do sistema produtivo. O segundo argumento destacou que a análise de sensibilidade amplia a flexibilidade e a precisão na tomada de decisão, ao permitir simular variações nos parâmetros do modelo e identificar limites seguros de operação sem perda de rentabilidade, fortalecendo a gestão em cenários de incerteza.

Dessa forma, a síntese dos dois argumentos confirma a tese proposta, evidenciando que a programação linear, especialmente quando associada à análise de sensibilidade, representa uma estratégia eficaz, flexível e tecnicamente fundamentada para otimizar a produção de laticínios da FAYS e elevar sua rentabilidade.

Como parecer, entende-se que essa abordagem pode ser replicada em outras Unidades da Força Aérea que enfrentam desafios semelhantes na busca por soluções ótimas que ofereçam maior retorno, tornando-se um instrumento estratégico para elevar a eficácia na gestão de recursos, reduzir a dependência de soluções externas e gerar mais receitas para a Força, como demonstrado no caso da FAYS, o que contribui diretamente para mitigar os efeitos das restrições orçamentárias que impactam toda a Força Aérea.

REFERÊNCIAS

- BARELLA, Rosilene Castilho Fernandes; SOUZA, Celso Correia de; REIS NETO, José Francisco dos; MALDONADO, Sidney; RODRIGUES, Wesley Osvaldo Pradella. Otimização da produção de queijos usando a ferramenta Solver do Excel. **Uniciências**, Campo Grande, v. 24, n. 2, p. 124–129, 2020. Disponível em: <https://uniciencias.pgsscogna.com.br/uniciencias/article/view/8729/5864>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- CARMO, Carlos Roberto Souza. **Modelo matemático para otimização do planejamento da aplicação de agentes maturadores e da colheita da cana-de-açúcar**. 2020. 84 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/44b907c4-3ce1-4606-a847-bbdf52a379f0>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- HILLIER, Frederick Stanton; LIEBERMAN, Gerald Jay. **Introdução à pesquisa operacional**. 8. ed. Tradução de Ariovaldo Griesi; revisão técnica de João Chang Junior. São Paulo: McGraw-Hill, 2006. Disponível em: <https://www.academia.edu/29281242>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- JANDRIĆ, Mersida; VICO, Grujica; SAVIĆ, Željko. Optimization of milk processing processes and analysis of obtained solutions. **Economics of Agriculture**, Belgrade, v. 71, n. 2, p. 627–638, 2024. Disponível em: <http://ea.bg.ac.rs>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- KAWANO, Bruno Rogora. **Otimização na indústria de laticínios: oportunidade de eficiência energética e econômica**. 2013. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=473469>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/dp/852163031X>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- LIMA, Silke Dantas Medeiros. **Acompanhamento e aplicação da programação linear para a otimização da produção em um laticínio localizado na região do Oeste Potiguar**. 2017. 55 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/5527>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- MOURA, Débora Pinheiro Cacao. **Contribuições da Teoria das Restrições para a gestão da produção: aplicação em uma indústria de laticínios**. 2016. 42 f. Monografia (Graduação em Administração) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/25329>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- VAZ, Lucas Vianna; GONÇALVES, Marcelo Carneiro; DIAS, Izamara Cristina Palheta; NARA, Elpídio Oscar Benitez. Application of a production planning model based on linear programming and machine learning techniques. **Journal of Engineering and Technology for**

Industrial Applications, Manaus, v. 10, n. 45, p. 17–29, jan./fev. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/jetia.v10i45.920>. Acesso em: 30 mar. 2025.