

INTEGRAÇÃO ENTRE SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS E PROGRAMAÇÃO LINEAR: OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO COM ANÁLISE DE UTILIZAÇÃO DA MÃO-DE-OBRA

INTEGRATION BETWEEN DISCRETE-EVENT SIMULATION AND LINEAR PROGRAMMING: PRODUCTION OPTIMIZATION WITH LABOR UTILIZATION ANALYSIS

Isadora Bernardo Rezende*^{ID} E-mail: isadora.rezende1@estudante.ufla.br

Flávio Fraga Vilela*^{ID} E-mail: flaviofvilela@ufla.br

*Universidade Federal de Lavras (UFLA), Câmpus São Sebastião do Paraíso, Lavras, MG, Brasil.

Resumo: O presente estudo propôs a integração entre Programação Linear (PL) e Simulação a Eventos Discretos (SED) para otimizar a produção de uma empresa de pequeno porte do setor alimentício, especializada na fabricação de salgadinhos para festas. A PL teve como função objetivo maximizar a produção de dois itens principais, analisando a alocação de recursos como mão de obra, tempo e insumos. Desta forma, foi utilizado um modelo matemático de PL para determinar a quantidade ótima de produção diária, considerando restrições operacionais como capacidade produtiva, armazenamento e produtividade da equipe. Em seguida, a solução obtida foi examinada por meio da SED, que simulou o funcionamento dinâmico do sistema produtivo com base nos dados da PL. A análise dos relatórios de simulação permitiu classificar as atividades conforme a abordagem Lean, identificando etapas que agregam ou não valor. Os resultados demonstraram que a produção ótima de 18.000 unidades diárias coincide com o limite da capacidade produtiva da empresa, evidenciando a consistência entre os modelos nas condições determinísticas adotadas. Portanto, a integração PL-SED mostrou-se eficaz para apoiar decisões operacionais, identificando gargalos, ociosidades e oportunidades de melhoria. O estudo evidencia o potencial dessa abordagem mesmo em empresas com estrutura simples.

Palavras-chave: Programação Linear. Simulação a Eventos Discretos. Produção. Otimização. Lean Manufacturing

Abstract: This study integrates Linear Programming (LP) and Discrete-Event Simulation (DES) to support production planning in a small food company that manufactures party snacks. The LP model maximized the daily output of chicken croquettes and cheese balls subject to production, labor, minimum-quantity, and storage constraints. The resulting production parameters were examined in a DES model with fixed, deterministic processing times. Simulation reports were also interpreted from a Lean perspective by classifying value-added and non-value-added activities. The LP solution indicated a daily output of 18,000 units, while the simulation exposed differences in labor utilization, work in process, throughput, idle time, and operational bottlenecks. Under the deterministic conditions adopted, the results indicated consistency between the models and opportunities for task balancing and flow improvement. The combined LP-DES approach provides structured support for operational decision-making in small production systems, although its conclusions are limited to the analyzed case and deterministic input assumptions.

Keywords: Linear Programming. Discrete-Event Simulation. Production. Optimization. Lean Manufacturing.

1 INTRODUÇÃO

A Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO) define a pesquisa operacional como um campo do conhecimento voltado ao estudo, desenvolvimento e aplicação de métodos analíticos avançados, que auxiliam na tomada de decisões mais eficazes em diferentes áreas da atividade humana. Entre as diversas técnicas utilizadas nesse campo, destaca-se a Programação Linear (PL), que se mostra especialmente eficaz na análise de problemas estruturados com dados concretos, permitindo orientar decisões de forma precisa e eficiente (Silva, 2023).

Planejar e tomar decisões envolve compreender a relação entre o cenário atual e as possibilidades futuras, com o objetivo de escolher a alternativa mais adequada e minimizar riscos (Corrêa; Corrêa, 2006). À medida que a produção nas empresas se expandiu, tornou-se indispensável aprimorar o planejamento e o controle dos fluxos produtivos (Lustosa *et al.*, 2008). O crescimento desordenado, quando não acompanhado de uma gestão eficaz, pode gerar diversos problemas operacionais, como gargalos na produção, atrasos nas entregas e acúmulo desnecessário de estoques.

Nesse cenário, a necessidade de controle e acompanhamento rigoroso dos processos produtivos tem crescido significativamente. As empresas enfrentam pressão constante para operar com estoques reduzidos, responder rapidamente às demandas dos clientes e manter baixos os custos de produção (Vollmann *et al.*, 2006). A gestão da produção, nesse contexto, assume papel central, sendo responsável por coordenar as atividades necessárias à entrega eficiente dos produtos, garantindo o uso adequado dos recursos e o cumprimento do planejamento de vendas e operações (Souza; Loos, 2021).

No Brasil, o setor de serviços, que abrange também a indústria alimentícia, representa uma das áreas mais promissoras da economia. Atualmente, esse setor tem forte relevância no cenário nacional, gerando aproximadamente 10 milhões de empregos diretos e indiretos e respondendo por 10,7% do faturamento do setor no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (ABIA, 2023).

Com o avanço da globalização, as mudanças no estilo de vida após a pandemia e o crescente poder do consumidor, as empresas têm buscado estratégias para se destacar em um mercado cada vez mais competitivo. A inovação, a diferenciação e o foco no cliente tornaram-se elementos essenciais para a expansão e consolidação das organizações (Kotler, 2021). No entanto, muitas empresas ainda enfrentam dificuldades para adaptar suas estruturas (Zenone, 2019).

Nesse contexto, a escolha de uma empresa fabricante de salgadinhos de festa como objeto deste estudo justifica-se por suas características operacionais específicas: ampla variedade de produtos, recursos produtivos limitados, como ingredientes, tempo e mão de obra e demanda sazonal, especialmente em períodos festivos. Tais fatores tornam o ambiente propício à aplicação de técnicas de otimização.

Diante disso, o presente artigo tem como objetivo a integração entre as abordagens da Programação Linear (Moreira, 2018) e Simulação a Eventos Discretos (Sharma *et al.*, 2007) por meio de uma perspectiva Lean que enfatiza a análise de atividades que agregam valor. Logo, pretende-se resolver um problema de otimização da produção em uma empresa de salgadinhos de festa localizada no Sudoeste de Minas Gerais, com o intuito de maximizar a fabricação de dois tipos de produtos, analisar a utilização da mão de obra via SED e, assim, melhorar a eficiência operacional e os resultados do negócio com base na perspectiva Lean.

A contribuição do estudo consiste em articular, em um mesmo procedimento aplicado, a otimização estática do mix de produção por Programação Linear, a avaliação dinâmica desse resultado por Simulação a Eventos Discretos e a leitura dos relatórios da simulação segundo a classificação de atividades que agregam ou não agregam valor. No contexto analisado, essa integração permite examinar simultaneamente a quantidade a produzir e a utilização da mão de obra, oferecendo apoio à decisão em uma pequena empresa com estrutura produtiva simples.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Conceitos básicos de Programação Linear

A Pesquisa Operacional é um ramo da matemática aplicada que utiliza modelos matemáticos, estatísticos e algoritmos para auxiliar no processo de tomada de

decisões. Trata-se de uma ciência voltada para resolver problemas práticos, com o objetivo de encontrar a melhor solução possível de acordo com um propósito previamente estabelecido. Entre as principais técnicas utilizadas nessa área, destaca-se a programação linear (Taha, 2008).

A programação linear surgiu como uma técnica matemática desenvolvida por G. B. Dantzig em 1947, com o objetivo de solucionar questões logísticas enfrentadas pela Força Aérea dos Estados Unidos. Mais tarde, Angeloni (2003) introduziu o Método Simplex, que ampliou a aplicação da técnica para problemas com muitas variáveis e restrições. Esse método permite encontrar a solução exata de qualquer problema de programação linear, além de identificar se o problema tem uma única solução, nenhuma solução ou múltiplas soluções possíveis.

Segundo Caixeta Filho (2004), para elaborar um problema de programação linear, é preciso seguir algumas etapas fundamentais. A primeira delas é estabelecer de forma clara qual é o objetivo da otimização, que deve ser único. Esse objetivo pode ser, por exemplo, aumentar o lucro, melhorar a eficiência, promover o bem-estar social ou, ainda, reduzir custos, tempo ou desperdícios. Esse propósito será traduzido em uma função objetivo linear, que será utilizada para maximizar ou minimizar o resultado desejado.

Vale destacar que a programação linear é uma ferramenta bastante aplicada em diferentes setores, como produção, logística, economia, entre outros. Além dela, há também outras abordagens de otimização, como a programação inteira, a programação não linear e a programação dinâmica, que são mais adequadas para lidar com situações mais complexas (Gomes, 2023).

A primeira dimensão a ser considerada em um problema é o seu objetivo. A segunda dimensão diz respeito às alternativas disponíveis, que representam as diversas decisões que podem ser tomadas para alcançar o objetivo de obter maior satisfação por meio das escolhas. Por fim, a terceira dimensão refere-se às restrições,

uma condição que impõe limites ao problema a ser resolvido, representando limitações reais do sistema, como recursos financeiros, tempo disponível, capacidade de produção, demanda mínima ou outras exigências operacionais (Silva, 2023).

As variáveis de decisão são valores que podem assumir diferentes quantidades, sendo que há uma combinação específica desses valores que irá maximizar ou minimizar a função objetivo, dependendo do problema. Essa combinação é a solução do problema de programação linear. Em outras palavras, as variáveis de decisão estão presentes tanto na função objetivo quanto nas restrições. Já os parâmetros aparecem como coeficientes das variáveis de decisão ou como limites máximos ou mínimos de grandezas no modelo. Normalmente, as variáveis de decisão são representadas por letras como x , y , z , entre outras, ou por letras maiúsculas, como X , Y , Z , ou ainda por letras indexadas, como x_1 , x_2 , x_3 , e assim por diante (Moreira, 2025).

Em termos gerais, os problemas de otimização procuram maximizar ou minimizar uma função objetivo, respeitando um conjunto de restrições associadas às variáveis de decisão. Quando essas variáveis são contínuas e as restrições assumem uma forma linear, trata-se de um problema de programação linear (Brogiato, 2021). Neste contexto, apresenta-se a seguir na Figura 1, as etapas da programação linear, conforme descritas por Moreira (2018):

Figura 1 - Etapas da Programação Linear



Fonte: Adaptado de Moreira (2018).

2.2 Exemplos de aplicação de Programação Linear

Foram realizadas buscas de artigos, em periódicos na base de dados Google Acadêmico, utilizando palavras-chave como "pesquisa operacional", "ramo alimentício", "setor alimentício", "programação linear" e restrições a estudos publicados a partir de 2021. A escolha por estudos mais recentes justifica-se pela necessidade de refletir as tendências atuais e as inovações no campo da pesquisa

operacional e sua aplicação no setor alimentício, considerando os avanços tecnológicos e mudanças nas dinâmicas do mercado.

Durante a pesquisa, observou-se uma certa dificuldade em encontrar estudos específicos sobre a aplicação da programação linear no ramo alimentício, o que evidencia uma possível lacuna existente na literatura e a importância de aprofundar as investigações nessa área. Com base nos estudos encontrados, foi elaborada a Tabela 1, que apresenta os resultados e limitações dos trabalhos revisados, os quais serviram de base para a elaboração deste estudo.

Tabela 1 – Resultados e limitações da aplicação de PO

Título	Autores	Setor	Resultados	Limitações
Mix de produtos e programação linear no processo decisório empresarial: um estudo de caso em uma indústria do ramo alimentício	Moraes, Santos Vallim (2023)	e Alimentício	Essa estratégia ajuda os gestores a identificar os produtos mais lucrativos, otimizando os recursos disponíveis mesmo em um cenário competitivo e sazonal.	Os resultados não podem ser generalizados para outras empresas ou setores, pois a pesquisa se restringiu a um estudo de caso.
Maximização do lucro na produção de velas em uma fábrica de Belém	Carmo <i>et al.</i> (2023)	Industrial	Identificou-se uma ótima solução de produção, que pode aumentar o lucro em até 15% com os recursos atuais. O principal gargalo identificado foi o recurso financeiro disponível.	Os resultados se baseiam exclusivamente nos dados fornecidos pela fábrica, o que pode restringir a abrangência e a precisão das conclusões.
Melhoria nos processos de uma confeitaria utilizando Business Process Management (BPM) e a programação linear	Fiorelli, Batista Bortoli (2022)	e Alimentício	Planejou-se a produção de cada tipo de bolo de forma mais eficiente, atendendo às restrições de demanda e tempo, reduzindo desperdícios e aumentando os lucros da empresa.	Este estudo é limitado por focar apenas em um processo específico da empresa e utilizar poucas metodologias de otimização, deixando de explorar outros setores e ferramentas que poderiam ampliar os resultados.
Estudo de caso: maximização do lucro de uma empresa produtora de açaí	Gonçalves <i>et al.</i> (2016)	Alimentício	Os resultados são capazes de proporcionar um aumento no lucro da empresa, além de permitir a elaboração de um plano de compras e produção mais estruturado e com maior controle operacional.	Os autores não apresentaram limitações do estudo.

				Identificou-se as folgas existentes em termos de capital financeiro, recursos e mão de obra por hora.	
Viabilidade dos usos da pesquisa operacional em uma pequena propriedade rural com diferentes culturas de hortaliças	Silva (2024)	Alimentício		Os resultados indicaram que algumas culturas de hortaliças não são lucrativas. Com o uso da PO, o produtor pode identificar oportunidades de otimização dos recursos, maximizar a produção, reduzir custos e tomar decisões mais seguras sobre quais hortaliças cultivar, em que quantidades e com que preços, conforme a demanda do mercado.	Os autores não apresentaram limitações do estudo.
O uso da pesquisa operacional na otimização de uma pequena empresa de bolos	Santos <i>et al.</i> (2023)	Alimentício		Foi possível definir um mix de produtos próximo do ideal, priorizando itens que aumentam a lucratividade. O modelo também indicou oportunidades de reduzir o uso de insumos subutilizados, diminuindo custos e otimizando recursos. Além de uma redução significativa nos estoques, contribuindo para a maximização do lucro da empresa.	Os autores não apresentaram limitações no estudo.
Modelagem linear aplicado à maximização de lucro na produção de uma panificadora em Ananindeua-PA	Tavares <i>et al.</i> (2024)	Alimentício		Os resultados mostraram que havia desperdício de 10% de farinha de trigo, 5% de fermento e 10% de sal, mas que a sobra de ingredientes compensou essas perdas. O modelo indicou a produção ideal de 14.800 pães franceses e 11.000 pães de hambúrguer, representando um aumento de 6,6% em relação ao lucro anterior.	Os autores não apresentaram limitações do estudo.
Otimização da produção dos	Bressan, Santos e	Alimentício		Os modelos de programação linear	As limitações deste estudo incluem o fato de

alimentos de um restaurante universitário	Zebediff (2016)	apresentam resultados promissores e auxiliam na tomada de decisão, tendo como principais consequências o aumento do lucro do restaurante e a redução dos desperdícios.	que os modelos matemáticos propostos ainda não foram implementados na rotina do restaurante universitário, pois sua aplicação depende da autorização dos proprietários. Além disso, os resultados obtidos são específicos ao contexto analisado, não podendo ser generalizados para outros ambientes.
---	-----------------	--	---

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Sendo assim, fica evidenciado o potencial da programação linear na maximização do lucro e na otimização de recursos no setor alimentício e industrial, por meio da definição de mix de produtos, redução de desperdícios e planejamento eficiente da produção. Em fábricas, confeitarias, panificadoras, propriedades rurais e restaurantes universitários, os modelos matemáticos permitiram identificar gargalos, ajustar o uso de insumos e ampliar a lucratividade com os recursos disponíveis. No entanto, apesar dos resultados positivos, algumas pesquisas apontam limitações como o uso de dados específicos de uma única empresa, a não implementação prática dos modelos e a restrição de escopo, o que impede a generalização das conclusões.

2.3 Simulação a Eventos Discretos

De acordo com Banks (2000), a simulação consiste na reprodução do funcionamento de um sistema ou processo real, permitindo explorar diferentes cenários, detectar falhas, identificar limitações e testar modificações sem precisar utilizar os recursos físicos que seriam exigidos em testes reais.

Carson (2005) acrescenta que a simulação possibilita antecipar problemas, gargalos e falhas mesmo antes da implementação ou reformulação de um sistema. Além disso, torna viável a comparação entre várias alternativas de projeto sem comprometer recursos ou realizar investimentos diretos. Segundo Birta e Arbez (2013), há uma ampla gama de motivos para empregar modelos de simulação. Eles destacam os seguintes usos principais:

- Capacitação e treinamento;
- Desenvolvimento de projetos de engenharia;

- Análise de diferentes opções de decisão ou ação;
- Estudo de estratégias de mudança;
- Previsões;
- Avaliação de desempenho;
- Criação e teste de protótipos;
- Análise de riscos e segurança;
- Suporte para decisões de aquisição ou compra;
- Redução das incertezas durante o processo decisório.

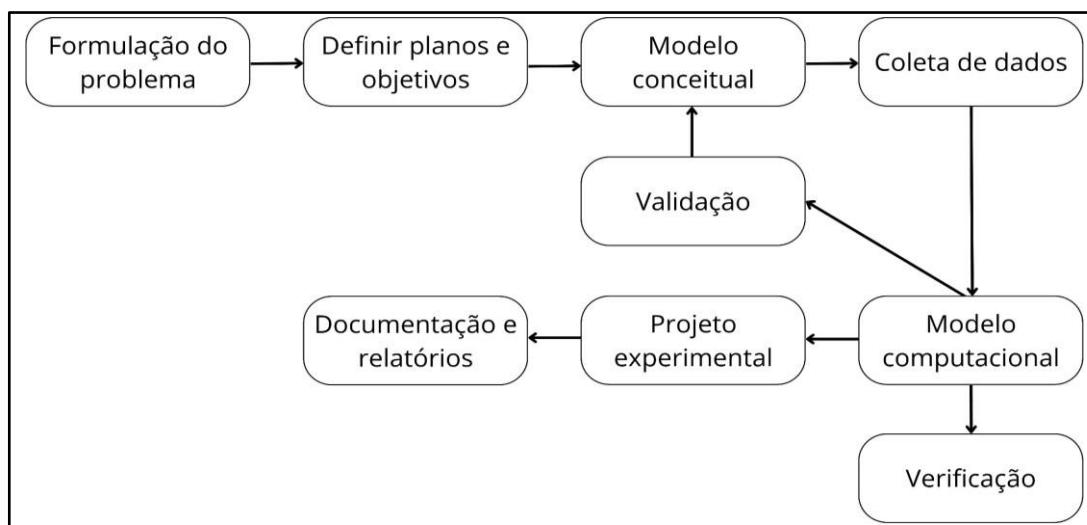
Um modelo de simulação bem estruturado deve oferecer uma visão clara do comportamento do sistema, e não apenas apresentar resultados numéricos. Sem a utilização da simulação, seria necessário testar diretamente no sistema real, o que pode gerar grandes impactos ou simplesmente não realizar testes, o que envolve riscos (Carson, 2005).

Jacobson, Hall e Swisher (2006) explicam que a Simulação a Eventos Discretos (SED) possibilita aos usuários analisar a eficiência de um sistema, permitindo realizar perguntas do tipo “o que aconteceria se...”. Isso é feito por meio de testes que ajudam a planejar novas formas de operação, avaliando como possíveis mudanças podem impactar o fluxo de pacientes e a necessidade de alocação de recursos para implementar melhorias.

Nos modelos de SED, o tempo tem papel essencial, pois as alterações no estado do sistema ocorrem apenas em pontos específicos chamados de tempos de eventos. Esses eventos podem gerar outros eventos, iniciar atividades e processos, e afetar as entidades e recursos envolvidos. Em termos conceituais, o estado do sistema é representado por um vetor extenso, ou seja, um conjunto de variáveis que descrevem completamente o sistema em qualquer instante de tempo.

Um evento é uma ocorrência pontual que altera o estado do sistema, como, por exemplo, a chegada de um cliente. Já uma atividade representa a duração de um processo ou serviço em um determinado estado. A entidade é um componente do modelo, enquanto o recurso é a entidade responsável por prestar serviços às demais entidades dinâmicas (Banks, 2000; Carson, 2005). A Figura 2 apresenta de forma esquemática os principais passos necessários para conduzir um estudo de Simulação a Eventos Discretos de forma eficaz.

Figura 2 - Principais passos necessários para a formulação



Fonte: Adaptado de Sharma *et al.* (2007).

O primeiro passo consiste em entender qual é o problema a ser resolvido. Em seguida, é necessário definir os objetivos do estudo, especificando as perguntas que se pretende responder. Depois disso, deve-se elaborar um plano geral que inclua os recursos necessários, as etapas do projeto, os prazos e os resultados esperados para cada fase.

O terceiro passo é a criação do modelo conceitual. Isso envolve representar, de forma abstrata, o funcionamento do sistema real que será simulado, descrevendo suas metas, entradas e saídas, bem como as premissas, simplificações e elementos que compõem o modelo.

O quarto passo diz respeito à coleta de dados, um processo demorado e essencial, visto que os projetos de simulação geralmente demandam grandes volumes de informações. Na quinta etapa, ocorre a modelagem computacional, que consiste em transformar o modelo conceitual em um formato que possa ser processado por computador, seja por meio de linguagens de programação ou de softwares específicos de simulação.

Após isso, realiza-se a verificação, que garante que o programa criado está de acordo com o modelo conceitual. A validação, por sua vez, assegura que o modelo representa corretamente o sistema real e atende aos seus objetivos, por meio da comparação entre os resultados simulados e o comportamento real do sistema. O projeto experimental é a fase em que são feitos os testes e modificações no modelo

para avaliar quais mudanças causam impactos relevantes. Por fim, elabora-se um relatório final, claro e bem documentado, que apresenta todos os resultados e análises obtidas ao longo do estudo (Sharma *et al.*, 2007).

Por fim, é válido frisar que a Simulação a Eventos Discretos é amplamente reconhecida como uma das ferramentas mais eficazes e intuitivas para analisar e aprimorar sistemas de saúde complexos (Jacobson; Hall; Swisher, 2006). No entanto, é fundamental que outros conceitos sejam incorporados aos projetos de SED, de forma a orientar o uso de métricas e encontrar soluções mais adequadas para a melhoria do sistema.

3 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza quantitativa e com abordagem operacional, tendo como objetivo solucionar um problema prático enfrentado por uma empresa do setor alimentício. Sendo assim, busca-se explorar uma abordagem integrada para otimização da produção em uma empresa fabricante de salgadinhos de festa localizada no Sudoeste de Minas Gerais. Trata-se de um ambiente com características operacionais desafiadoras, como ampla variedade de produtos, recursos limitados (mão de obra, tempo e insumos) e demanda sazonal, especialmente em datas comemorativas. Essas condições tornam o cenário ideal para aplicação de técnicas quantitativas que contribuam para a eficiência operacional e a tomada de decisão baseada em dados.

Para isso, propõe-se a integração entre as abordagens da Programação Linear (Moreira, 2018) e Simulação a Eventos Discretos (Sharma *et al.*, 2007) por meio de uma perspectiva Lean que enfatiza a análise de atividades que Agregam ou Não Agregam Valor (Rother; Shook, 2003). A Programação Linear permite identificar a alocação ótima de recursos e maximizar a produção, enquanto a Simulação oferece uma visão dinâmica e realista do comportamento do sistema ao longo do tempo. Já a análise de atividades que Agregam ou Não Agregam Valor (AV/NAV), extraída dos relatórios da simulação, possibilita identificar desperdícios e oportunidades de melhoria contínua. A seguir, apresenta-se a metodologia em 4 etapas que norteiam o desenvolvimento do estudo.

3.1 Etapa 1 - Definição do problema

Neste estudo, desenvolve-se um modelo de programação linear com o objetivo de maximizar a produção dos dois principais produtos comercializados por uma empresa especializada na fabricação de salgadinhos para festas: coxinha de frango e bolinha de queijo. A empresa busca maximizar a produção diária desses produtos, considerando, contudo, as restrições impostas pela disponibilidade limitada de recursos, especificamente massa, bem como a capacidade máxima de produção. No contexto da empresa fabricante de salgadinhos de festa, a técnica de programação linear inteira mista mostra-se mais adequada à modelagem do problema de otimização da produção. Isso se deve ao fato de que algumas variáveis de decisão, como a quantidade de produtos a serem produzidos, devem assumir apenas valores inteiros, pois não é possível produzir uma fração de unidade desses produtos, e alguns insumos serão medidos em quantidades fracionárias (a quantidade das restrições pode ser fracionada).

3.2 Etapa 2 - Planejamento do estudo, coleta de dados e formulação matemática

Esta etapa do estudo consistiu na seleção de uma empresa participante, responsável por fornecer as informações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa. O estudo foi realizado em uma empresa do setor alimentício, situada no sudoeste de Minas Gerais, com mais de dez anos de atuação no mercado, especializada na produção e comercialização de salgadinhos para festas, e que atualmente conta com um quadro de 10 funcionários. Além disso, a escolha dessa empresa para a realização do estudo foi motivada pela facilidade de acesso às informações necessárias para a coleta de dados. Essa proximidade se deve ao fato de a autora do estudo possuir vínculo familiar direto com os proprietários, o que possibilitou um contato mais estreito e eficiente com as operações e os processos internos da organização.

Para fundamentar o modelo de otimização, foram utilizados dados de produção e vendas registrados pela empresa e informações operacionais fornecidas pelos proprietários. Os tempos de funcionamento empregados como parâmetros determinísticos foram levantados por meio de cronoanálise do processo, com a realização de oito cronometragens, adotando-se a média aritmética simples dos

valores observados. Os registros referentes às quantidades vendidas de janeiro a abril de 2025 foram disponibilizados diretamente pela organização. A partir dessa base, calculou-se a demanda média dos produtos selecionados, empregada como parâmetro na formulação do modelo de Programação Linear.

A formulação matemática converteu o problema real em um modelo composto por objetivo, variáveis de decisão e restrições. Considerando a organização diária já adotada pela empresa, definiram-se como variáveis x_1 , quantidade diária de coxinhas de frango, e x_2 , quantidade diária de bolinhas de queijo, e formulou-se a função objetivo de maximização da produção conjunta de $x_1 + x_2$.

Com base na análise dos dados de vendas da empresa nos últimos quatro meses, identificou-se que os produtos coxinha de frango e bolinha de queijo são os dois salgados mais vendidos no período analisado. Diante disso, optou-se por concentrar o modelo de programação linear nesses dois itens, com o objetivo de maximizar a produção e, conseqüentemente, o aproveitamento dos recursos disponíveis para atender à maior demanda registrada pela empresa.

Em seguida, foram consideradas as restrições de produção com base nas informações fornecidas pelos proprietários da empresa, que detalharam os principais limites operacionais enfrentados no processo produtivo.

Na etapa seguinte, foi desenvolvido o modelo matemático de programação linear, no qual foram definidas as variáveis de decisão, as restrições do sistema produtivo e a função objetivo. As variáveis representam as quantidades a serem produzidas de cada produto, enquanto as restrições refletem os limites operacionais identificados previamente, como tempo disponível, insumos e capacidade produtiva. A função objetivo foi formulada com o propósito de maximizar a produção total dos salgados mais demandados, conforme os dados analisados.

3.3 Etapa 3 - Utilização do Solver e modelagem computacional

Com o modelo matemático estruturado, procedeu-se à sua implementação no Solver, ferramenta de otimização disponível no Microsoft Excel, amplamente utilizada na resolução de problemas de Programação Linear. A escolha pelo Solver justifica-se

pela sua praticidade, acessibilidade e eficiência na manipulação de múltiplas restrições e variáveis de decisão.

De acordo com Tonin *et al.* (2019), de modo geral, a resolução de modelos de otimização costuma demandar o uso de recursos computacionais, que implicam investimentos em software, hardware e capacitação para a adequada utilização dessas ferramentas. Teixeira *et al.* (2019) destacam que o Solver, suplemento do Microsoft Excel, permite encontrar soluções ótimas para determinados problemas, realizando iterações que ajustam os valores das variáveis de decisão de forma a atender às restrições definidas e alcançar o resultado esperado para a função objetivo. Filho, Cezarino e Ratto (2009) demonstram, em seu estudo, o uso do Excel, juntamente com o Solver, como uma alternativa de menor custo e com maior facilidade de compreensão para os usuários. O Solver oferece três algoritmos para resolução de problemas: LP Simplex, GRG e Algoritmo Evolutivo.

Neste trabalho, foi adotado o método baseado no LP Simplex, apropriado para a resolução do modelo de Programação Linear proposto. Na PL, realizou-se a implementação do modelo em ambiente computacional (Solver). Na Simulação, construiu-se o modelo virtual do sistema produtivo com base no modelo conceitual, representando a operação ao longo do tempo e fixando a entrada no valor ótimo obtido pela PL para a análise dos relatórios de simulação.

3.4 Etapa 4 - Verificação, validação do modelo e análise final

Nesta etapa, realizam-se a verificação e a validação dos modelos desenvolvidos, tanto da Programação Linear quanto da Simulação a Eventos Discretos. A verificação consiste na checagem da coerência lógica e técnica dos modelos computacionais em relação ao modelo conceitual. Na Programação Linear, verifica-se a consistência das equações, variáveis e restrições. Na Simulação, analisa-se o fluxo correto dos processos, a lógica dos eventos e a ausência de erros operacionais.

Após a verificação, realizou-se a validação das saídas, comparando-se o comportamento dos modelos com os dados reais da empresa. A validação garante que os modelos representem adequadamente a realidade do sistema produtivo. Se necessário, são realizados ajustes finos para aprimorar a aderência dos modelos às

condições reais da operação. Na validação computacional da saída quantidade produzida do modelo computacional, aplicou-se o Teste de Turing (Chwif; Medina, 2010; Kleijnen, 1995; Sargent, 2014).

Na sequência, com base nos relatórios da SED, as atividades foram classificadas: AV (Agregam Valor): etapas que transformam o produto conforme a demanda do cliente, como preparo, fritura, embalagem e NAV (Não Agregam Valor): tempos de espera, movimentações desnecessárias, gargalos, retrabalho. Portanto, foi possível verificar a utilização da mão de obra por meio do relatório da SED com ênfase na perspectiva Lean quando o valor ótimo segundo a PL é obtido.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A formulação do modelo matemático visa representar de maneira precisa o problema de otimização da produção de salgadinhos na empresa estudada. Para este estudo, será viável realizar os cálculos considerando a produção diária, uma vez que esse é o modelo de organização já adotado pela empresa, facilitando a coleta de dados e a aplicação prática dos resultados. As variáveis de decisão ficaram da seguinte forma:

- x_1 : quantidade de coxinhas de frango a serem produzidas diariamente.
- x_2 : quantidade de bolinhas de queijo a serem produzidas diariamente.

O objetivo é maximizar a produção diária conjunta desses dois produtos. Assim, a função objetivo foi definida como: $\text{Max } Z = x_1 + x_2$. Durante a coleta de dados, encontrou-se certa dificuldade, pois a maior parte das informações essenciais não estava disponível formalmente em documentos ou sistemas. Dessa forma, muitos dados foram baseados na experiência prática dos gestores, o que demandou um esforço adicional para a validação e sistematização dessas informações. Com isso, as restrições do modelo foram definidas a partir dessas estimativas e conhecimentos empíricos fornecidos pelos proprietários, sendo elas apresentadas abaixo:

1. Capacidade máxima de produção diária: Considerando a capacidade produtiva da empresa, a quantidade máxima que pode ser fabricada diariamente é:
 - $x_1 \leq 10.000$
 - $x_2 \leq 9000$

2. Quantidade mínima de produção diária: Para manter a operação eficiente, foram estabelecidas quantidades mínimas de produção para cada produto:
 - $x_1 \geq 3.675$ (equivalente a pelo menos 5 ciclos de produção de coxinhas).
 - $x_2 \geq 3.675$ (equivalente a pelo menos 5 ciclos de produção de bolinhas).

3. Capacidade de mão de obra: A equipe produtiva é composta por quatro funcionários, sendo um responsável pela operação da máquina e três pelo armazenamento dos salgadinhos. Cada funcionário produz, em média, 562,5 unidades por hora. Considerando a jornada de trabalho de 8 horas, a capacidade produtiva diária total é de até 18.000 unidades, distribuídas entre coxinhas e bolinhas:
 - $x_1 + x_2 \leq 18.000$

Esse valor foi estimado a partir das observações do processo produtivo: um ciclo de produção gera aproximadamente 735 salgadinhos, e quatro funcionários, sendo um operando a máquina e três responsáveis pelo manuseio, produzem, em conjunto, cerca de 4.500 coxinhas em 2 horas. Assim, em uma hora, a produção total é de aproximadamente 2.250 salgadinhos. Dividindo esse valor igualmente entre os quatro funcionários, obtém-se uma média de 562,5 unidades produzidas por funcionário por hora.

Restrição de armazenamento: A empresa dispõe de uma câmara fria com dimensões de 220 cm de comprimento por 200 cm de largura. As caixas utilizadas para armazenar os salgadinhos possuem dimensões de 36 cm por 55 cm, possibilitando o arranjo de 5 caixas por linha (largura) e 4 linhas (comprimento),

totalizando 20 caixas no chão da câmara. Além disso, é possível empilhar até 10 caixas, conforme o limite de altura de 200 cm e a altura padrão de cada caixa (20 cm). Cada caixa comporta até 700 unidades de salgadinhos, o que resulta em uma capacidade máxima de armazenamento de: 20 caixas x 10 empilhamentos x 700 unidades = 140.000 unidades. Portanto, a restrição de armazenamento impõe que:

- $x_1 + x_2 \leq 140.000$

Para a resolução do modelo de programação linear, utilizou-se o Microsoft Excel, ferramenta amplamente difundida e acessível, contando com o suplemento Solver para otimização. Inicialmente, na aba “Dados”, acessou-se o suplemento “Solver”. As configurações realizadas no Solver foram as seguintes:

- Célula objetivo: configurou-se a célula que calcula a função objetivo Z, definida para maximização da produção total;
- Variáveis de decisão: selecionaram-se as células correspondentes às quantidades diárias a serem produzidas de coxinhas (x_1) e bolinhas de queijo (x_2);
- Restrições: incluíram-se todas as restrições do problema, assegurando que os limites de capacidade produtiva, mão de obra, armazenamento e quantidades mínimas fossem respeitados.
- Tipo das variáveis: definiu-se que x_1 e x_2 fossem variáveis inteiras, uma vez que a produção não admite frações de unidades;

Após a parametrização, executou-se o Solver para obter a solução ótima do problema. Os valores obtidos para x_1 e x_2 foram avaliados quanto ao cumprimento das restrições impostas e à viabilidade prática na produção diária.

Figura 3 - Configuração de parâmetros no Solver

Definir Objetivo:

Para: ☒ Máx. ☐ Mín. ☐ Valor de:

Alterando Células Variáveis:

Sujeito às Restrições:

\$A\$2 >= 3675		Adicionar
\$B\$2 >= 3675		
\$F\$12 <= \$B\$12		
\$F\$12 <= 140000		

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A Figura 3 apresenta a solução obtida a partir da implementação do modelo no Solver. Ao desconsiderar a limitação previamente estabelecida com base na capacidade máxima que a empresa historicamente havia alcançado, conforme informações fornecidas pelos proprietários, foi possível identificar os seguintes valores ótimos de produção:

- x_1 , quantidade de coxinhas de frango a serem produzidas diariamente = 9900
- x_2 , quantidade de bolinhas de queijo a serem produzidas diariamente = 8100

Esses valores atingem o limite máximo de produção diária, considerando a capacidade de mão de obra disponível, ou seja, o teto operacional estabelecido a partir do máximo que cada funcionário é capaz de produzir por hora na atual estrutura produtiva da empresa. Ou seja, $\text{Max } Z = 9900 + 8100 = 18.000$.

O resultado deve ser interpretado considerando a estrutura do modelo, cuja função objetivo maximiza o volume total e cujas restrições representam limites de produção, mão de obra, quantidades mínimas e armazenamento. Essa formulação é adequada ao problema delimitado, mas não incorpora, nesta versão, custos, margens distintas, variabilidade da demanda, sequenciamento, disponibilidade temporal de insumos ou decisões logísticas.

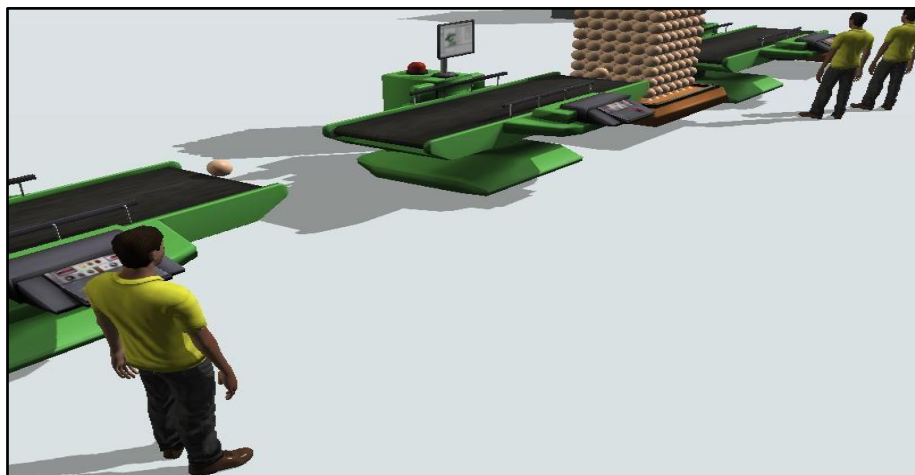
Na sequência, a construção do modelo de Simulação a Eventos Discretos (SED) seguiu as diretrizes propostas por Sharma *et al.* (2007), que recomenda uma abordagem estruturada composta por oito etapas: definição do problema, definição

dos objetivos do estudo, elaboração do modelo conceitual, coleta de dados, construção do modelo computacional, verificação e validação, experimentação e elaboração do relatório final.

Essa metodologia foi essencial para garantir coerência e rigor na aplicação da simulação no contexto da empresa analisada. Referente à etapa de “coleta dos dados”, é importante destacar que os dados de entrada utilizados na simulação computacional foram os mesmos adotados na formulação do modelo de Programação Linear (PL). Essa escolha teve como objetivo examinar, sob uma perspectiva dinâmica, o comportamento dos parâmetros de produção obtidos pela PL nas condições determinísticas adotadas.

Ou seja, a quantidade de produtos, os tempos de operação, a capacidade de mão de obra e as restrições físicas da empresa foram mantidos de forma idêntica nos dois modelos, assegurando a comparabilidade entre os resultados obtidos por métodos distintos. A etapa de “construção do modelo computacional” foi realizada por meio de um software de simulação computacional comercial, conforme indica a Figura 4:

Figura 4 - Trecho da linha de produção simulada de salgadinhos



Fonte: Modo apresentação software de SED.

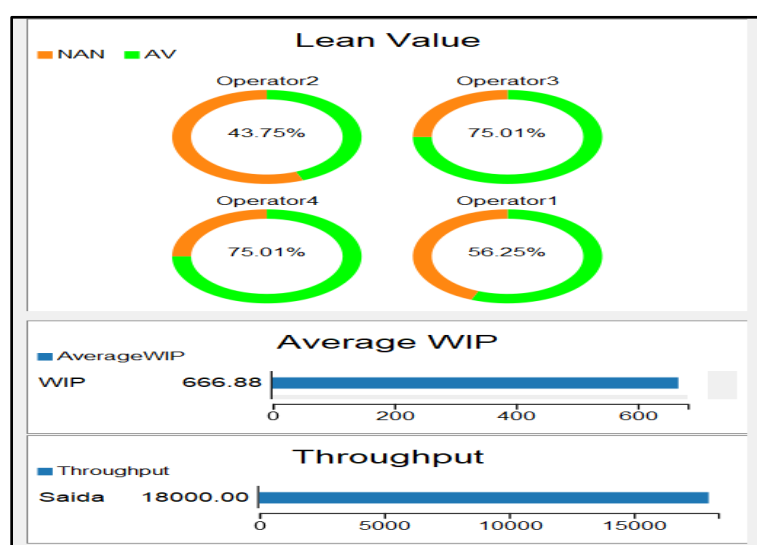
O modelo de SED utilizou valores fixos e determinísticos para os tempos de processamento das etapas. Não foram ajustadas distribuições de probabilidade nem representada a variabilidade dos tempos entre ciclos; portanto, os resultados descrevem o cenário determinístico parametrizado. Nesse cenário, foi modelado o

processo produtivo completo da fábrica de salgadinhos, simulando o fluxo operacional com base na solução ótima sugerida pela PL: 9.900 coxinhas de frango e 8.100 bolinhas de queijo por dia. Essa simulação permitiu uma análise detalhada da alocação de recursos humanos, da capacidade de produção e da eficiência operacional.

Os relatórios gerados pelo simulador (Figura 5) evidenciam importantes pontos de atenção. A análise das atividades que Agregam Valor (AV) e Não Agregam Valor (NAV), conforme a abordagem Lean Manufacturing, mostrou que os operadores 3 e 4 foram os mais eficientes, com 75,01% de tempo em AV, enquanto o operador 2 teve apenas 43,75% de AV, indicando uma significativa parcela de tempo desperdiçada. O operador 1 apresentou 56,25% de AV, refletindo uma situação intermediária. Além disso, os indicadores globais da simulação confirmaram a consistência do modelo:

- WIP (Work in Process) médio de 666,88 unidades, sinalizando um nível moderado de estoque em processo que merece monitoramento para evitar excessos.
- Throughput de 18.000 unidades, valor que coincide exatamente com o limite máximo de produção previsto pela PL, indicando consistência entre os modelos nas condições determinísticas adotadas.

Figura 5 - Dashboard da simulação com os mesmos parâmetros da PL



Fonte: Relatório do software de SED.

Com isso, a integração entre Programação Linear e Simulação a Eventos Discretos permitiu não apenas identificar a produção ótima, mas também compreender como essa solução se comporta em um ambiente produtivo dinâmico. A análise conjunta reforça o potencial dessas ferramentas para a tomada de decisão baseada em dados, mesmo em empresas de pequeno porte, promovendo maior eficiência, controle operacional e visão estratégica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou a aplicabilidade da integração entre Programação Linear (PL) e Simulação a Eventos Discretos (SED) como ferramenta de apoio à tomada de decisão em uma pequena empresa do setor alimentício. A modelagem matemática permitiu identificar a produção ótima diária de dois produtos estratégicos, maximizando o uso dos recursos disponíveis. Já a simulação, que utilizou os mesmos dados da PL, permitiu examinar dinamicamente essa solução, evidenciando gargalos, eficiência da mão de obra e indicadores operacionais como WIP e *throughput*. A abordagem integrada mostrou-se útil ao articular a otimização estática com a realidade operacional do sistema produtivo.

Além disso, a análise dos relatórios de simulação gerados no simulador comercial, com base na perspectiva Lean, permitiu classificar as atividades como agregadoras ou não agregadoras de valor. Verificou-se que parte da equipe apresentava alta eficiência, enquanto outros operadores acumulavam tempos significativos em atividades improdutivas, revelando oportunidades de melhorias como balanceamento de tarefas ou reorganização do layout. O *throughput* registrado (18.000 unidades/dia) coincidiu com o valor ótimo da PL, indicando consistência entre os resultados dos modelos nas condições analisadas. Além disso, o modelo proporcionou ganhos qualitativos, promovendo uma nova forma de pensar o processo produtivo, mais orientada por dados e menos baseada apenas na experiência empírica. Apesar das limitações relacionadas à coleta dos dados, o estudo contribuiu significativamente para o aprendizado prático de conceitos da Pesquisa Operacional associados à SED, e demonstrou seu potencial de aplicação mesmo em contextos produtivos com estrutura simples.

Como limitações, destaca-se que a pesquisa se restringe a um estudo de caso em uma única empresa e a dois produtos, de modo que os resultados não podem ser generalizados diretamente para outros contextos produtivos. Parte dos parâmetros operacionais foi obtida por meio de informações e estimativas dos proprietários, em um ambiente com registros formais incompletos, o que pode afetar a precisão das entradas dos modelos. Além disso, a formulação de Programação Linear representa um conjunto delimitado de restrições e não contempla custos, margens, variações de demanda, sequenciamento ou logística. A Simulação a Eventos Discretos também foi limitada pelo uso de valores determinísticos para os tempos de processo, sem ajuste de distribuições de probabilidade ou representação da variabilidade entre ciclos. Essas limitações delimitam o alcance dos resultados e orientam o aprofundamento futuro da modelagem e da coleta de dados.

Portanto, o objetivo da presente pesquisa foi alcançado e a utilização conjunta da PL e da SED, com análise dos relatórios da simulação por meio da classificação AV/NAV, permitiu uma visão mais abrangente e aprofundada do processo produtivo. Enquanto a Programação Linear indicou a quantidade ótima a ser produzida, a Simulação revelou como essa produção se comporta ao longo do tempo, identificando tempos de espera, ociosidade e sobrecarga de recursos. Essa combinação permitiu identificar melhorias na alocação de mão de obra, redução de estoques intermediários e reorganização de fluxos produtivos, com base em dados reais e observáveis. Por fim, trabalhos futuros poderão incorporar custos e margens por produto, demanda variável, disponibilidade de insumos, sequenciamento da produção, restrições logísticas e cenários probabilísticos, além de ampliar o número de produtos e o período de coleta, tornando o modelo mais abrangente e estratégico.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Foi utilizada a ferramenta da OpenAI como apoio à revisão linguística, à padronização formal e à análise de conformidade editorial do manuscrito. A ferramenta não foi utilizada para gerar dados, resultados de pesquisa ou figuras.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS – ABIA.

Relatório anual 2023. Disponível em:

<https://www.abia.org.br/vsn/temp/z2023417RelatorioAnual2023interativoFINAL.pdf>.

Acesso em: 13 out. 2025.

ANGELONI, M. T. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

BANKS, J. **Introduction to simulation**. In: Winter Simulation Conference, 2000. Proceedings [...]. IEEE, 2000. p. 9-16.

BIRTA, L. G.; ARBEZ, G. **Modelling and simulation**. London: Springer, 2013.

BRESSAN, Glaucia Maria; SANTOS, Pedro Augusto Mazini dos; ZEBEDIFF, Nayara Bibiano. Otimização da produção dos alimentos de um restaurante universitário.

Revista Eletrônica Paulista de Matemática, Bauru, v. 6, Edição Iniciação Científica, p. 15-27, jul. 2016. DOI:

10.21167/cqdvol6ic201623169664gmbpamsnbz1527

BROGIATO, G. C. **Programação linear, linear inteira e os algoritmos simplex e branch and bound**: Problemas e aplicações em otimização. 2021. Universidade Federal de São Carlos, 2021.

CAIXETA FILHO, J. V. **Programação linear e aplicações**. São Paulo: Atlas, 2004.

CARMO, Arthur Pantoja do *et al.* **Maximização do lucro na produção de velas em uma fábrica de Belém**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 43., 2023, Fortaleza. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2023.

CARSON, J. S. **Introduction to modeling and simulation**. In: Winter Simulation Conference, 2005. Proceedings [...]. IEEE, 2005. 8 p.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos**: teoria e aplicações. 3. ed. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2006. E-book (Minha Biblioteca – 4ª edição, 2010). Disponível em: <https://minhabiblioteca.com.br>. Acesso em: 13 ago 2025.

DANTZIG, G. B. **Maximization of a Linear Function of Variables Subject to Linear Inequalities**. In: ACTIVITIES OF THE MATHEMATICAL RESEARCH GROUP OF THE CENTRAL AIR TRANSPORT COMMAND. United States Army, 1947. p. 1-18.

FILHO, O. S.; CEZARINO, W.; RATTO, J. Planejamento agregado da produção: modelagem e solução via planilha Excel e Solver. **Produção Online**, v. 9, n. 3, 2009.

FIORELLI, Isabella Santos; BATISTA, Marcos Diniz; BORTOLI, Pedro Henrique de Sousa. Melhoria nos processos de uma confeitaria utilizando Business Process Management (BPM) e a programação linear. **Revista FT**, v. 26, ed. 116, nov. 2022. DOI: 10.5281/zenodo.7304016

GOMES, J. M. S. **O conceito de pesquisa operacional e sua aplicabilidade na solução de problemas reais**. [S.l.], 2023. 25 f. Monografia (Graduação em Administração) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

GOMES, M. C. C.; OLIVEIRA, J. F. **Programação linear e inteira**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

GONÇALVES, Mara Juliana Sena *et al.* **Aplicação da programação linear em uma empresa produtora de açaí localizada no estado do Pará**. In: ENCONTRO PARAENSE DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 6., 2016, Belém. Anais [...]. Belém: UEPA, 2016. p. 166-174.

JACOBSON, S. H.; HALL, S. N.; SWISHER, J. R. Discrete-event simulation of health care systems. **International Series in Operations Research and Management Science**, v. 91, p. 212-252, 2006.

KLEIJNEN, J. P. C. Theory and methodology: verification and validation of simulation models. **European Journal of Operational Research**, v. 82, p. 145-162, 1995. DOI: 10.1016/0377-2217(94)00016-6.

KOTLER, Philip. **Marketing Para O Século XXI**. Rio de Janeiro: Editora Alta Books, 2021. E-book. p.iii. ISBN 9786555202458.

LOPES, H. F. **Programação Linear**. São Paulo: Atlas, 2005.

MORAES, Amanda Silva; SANTOS, Luciana de Paula; VALLIM, Carlos Roberto. Mix de produtos e programação linear no processo decisório empresarial: um estudo de caso em uma indústria do ramo alimentício. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CUSTOS, 18.; CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 30., 2023, Natal. **Anais** [...]. Natal: Associação Brasileira de Custos, 2023.

MOREIRA, Daniel A. **Pesquisa Operacional: Curso Introdutório**. 2. ed. Porto Alegre: +A Educação - Cengage Learning Brasil, 2018. E-book. p. 12. ISBN 9788522128068.

LUSTOSA, L. J.; MESQUITA, M. A. **Planejamento e controle da produção**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2008.

MOREIRA, Vinícius de Oliveira. **Otimização de rotas do transporte escolar público em Russas/CE: uma abordagem com programação linear inteira**. 2025.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda**. [S.l.]: Lean Enterprise Institute, 2003.

SANTOS, Alice da Silva; RAMOS, Clayton Richard; PORTO, Karen Andrade; CARVALHO, Marcelo. O uso da pesquisa operacional na otimização de uma pequena empresa de bolos. **Revista Fatecnológica da Fatec-Jahu**, Jaú, v. 16, n. 1, p. 106-117, 2023. DOI: 10.54628/issn2763-5600.v16.1.2022.239.

SARGENT, R. G. **Verifying and validating simulation models**. In: Winter Simulation Conference. Savannah, 2014.

SHARMA, V. *et al.* Simulation application for resource allocation in facility management processes in hospitals. **Facilities**, v. 25, n. 13–14, p. 493–506, 2007.

SILVA, Adriano Maniçoba da. **Pesquisa operacional aplicada à logística**. Rio de Janeiro: Editora Alta Books, 2023. E-book. p. 20. ISBN 9788550818634.

SILVA, Marcela Alves. **Viabilidade dos usos da pesquisa operacional em uma pequena propriedade rural com diferentes culturas de hortaliças**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Agronegócios) - Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente, Presidente Prudente, 2024.

SOUZA, Ana Cristina Marques de; LOOS, Mauricio Johnny. **Engenharia de produção e recursos humanos: ciências exatas e humanas de mãos dadas..** In: Anais do Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação. Juazeiro do Norte(CE) URCA, 2021.

TAHA, H. A. **Pesquisa operacional**. 8. ed. [S.l.: s.n.], 2008.

TAVARES, Iago Pinheiro *et al.* **Modelagem linear aplicada à maximização de lucro na produção de uma panificadora em Ananindeua-PA**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 44, 2024. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2024.

TEIXEIRA, L.C.; SILVA, S.L.; ALVES, S.; VIEIRA, R.R.; COSTA, C.R.S. **Aplicação da pesquisa operacional para minimização de custos na alimentação de coelhos**. Anais do XXXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Santos/SP, 2019.

TONIN, L.A.; SANTOS, W.R.; ASSERBY, L. MENEGON, N.L.; CAMAROTTO, J.A. Aplicação de otimização no planejamento agregado. O caso de uma fábrica de eletrodomésticos: ventiladores, exaustores e espremedores de frutas. In: XXXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), Anais [...], Santos/SP, 2019.

VOLLMANN, T. E.; WHYBARK D. C.; JACOS, F. R.; BERRY, W. L. **Sistemas de Planejamento e controle da produção para gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ZENONE, Luiz Claudio. **Fundamentos do marketing estratégico**. Edições 70, 2019.

Biografia do(s) autor(es)

Isadora Bernardo Rezende

Bacharela em Inovação, Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal de Lavras Campus Paraíso (2024). Graduanda em Engenharia de Produção pela mesma instituição. Possui interesse em temas relacionados à Engenharia da Qualidade, Sustentabilidade e Estatística. Me destaco pela facilidade de comunicação, proatividade, abertura a novas experiências e disposição para aprender continuamente. Participei de projetos acadêmicos voltados ao Empreendedorismo e à Inovação, buscando sempre aprofundar meus conhecimentos e ampliar minha atuação profissional. Possui proficiência em Inglês.

Flávio Fraga Vilela

Docente e pesquisador no Instituto de Ciência, Tecnologia e Inovação da Universidade Federal de Lavras (UFLA), com atuação nas áreas de Simulação Computacional, Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e desenvolvimento de soluções tecnológicas aplicadas aos setores industrial, agrícola e de saúde. É Doutor em Engenharia de Produção e Gestão pela Universidade Federal de Itajubá (2022), Mestre em Simulação Computacional (2015) e Especialista em Qualidade e Produtividade (2013) pela mesma instituição, além de graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Ouro Preto (2010). Atua em pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação, com ênfase na integração entre sistemas embarcados, sensores inteligentes, IoT, Inteligência Artificial e Simulação Computacional. É titular de três patentes relacionadas ao monitoramento de processos assistenciais de urgência e emergência, à mobilidade reduzida de pacientes e ao controle da umidade da pele de pacientes acamados, além de possuir softwares registrados junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Seus projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico abrangem diferentes áreas de aplicação. Na agricultura, desenvolve soluções voltadas à agricultura de precisão e digital, incluindo sistemas baseados em IoT, sensores inteligentes e técnicas de Inteligência Artificial para aquisição e análise de dados e suporte à tomada de decisão. Em 2023, teve projeto de Empreendedorismo e Inovação aprovado pela Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais, voltado ao estímulo à criação de negócios inovadores em ciência e tecnologia no ambiente acadêmico. É Bolsista de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora (DT), Nível C, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), contemplado na Chamada CNPq n 23/2025. Em 2026, teve projeto aprovado na Chamada Universal 2026 Categoria A, para o desenvolvimento de uma solução baseada em Internet das Coisas e Inteligência Artificial destinada ao monitoramento inteligente das condições do solo em lavouras cafeeiras. O projeto contempla o desenvolvimento e a validação, em parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), de tecnologias para aquisição e análise de dados do solo e suporte à tomada de decisão. Sua atuação busca integrar pesquisa científica, desenvolvimento tecnológico, inovação e formação de recursos humanos, com foco na aplicação de tecnologias digitais para aumento da eficiência, redução de custos e melhoria de processos nos setores industrial, agrícola e de saúde.



Artigo recebido em: 13/08/2025 e aceito para publicação em: 23/07/2026

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v26i3.5664>