

Otimização do Planejamento da Produção por Meio da Programação Matemática: Um Estudo de Caso em uma Indústria de Brinquedos

Antônio Pistolato Cardeña

Prof. Dr. Valeriana Cunha

RESUMO

O presente artigo apresenta uma análise das margens de lucros e custos da empresa NIG Brinquedos, diante disso se prontifica por meio da aplicação da Pesquisa Operacional, especificamente por meio da Programação Linear Inteira Mista (PLIM) apresentar a otimização matemática identificando com precisão os itens de maior retorno financeiro por hora-máquina, promovendo o balanceamento entre as linhas de produção, mitigando desperdícios e elevando a eficiência global da planta sem a necessidade de novos investimentos físicos. O ensaio reforça a eficácia dos métodos quantitativos em transformar variáveis operacionais complexas em vantagens competitivas e financeiras tangíveis para a indústria de manufatura discreta.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional. Programação Linear Inteira Mista. Mix de Produção. Indústria de Brinquedos. Otimização de Processos.

1 INTRODUÇÃO

A eficiência produtiva constitui um dos principais desafios enfrentados pela indústria moderna, independentemente do setor de atuação. Em um ambiente altamente competitivo, a redução de custos, a maximização da utilização de recursos e a melhoria contínua do desempenho operacional são fatores essenciais para o desenvolvimento sustentável das empresas. Nesse contexto, a aplicação de modelos matemáticos no apoio à tomada de decisões estratégicas tem se consolidado como uma ferramenta relevante, permitindo maior racionalidade, precisão e eficiência na gestão dos processos produtivos.

Entre essas abordagens, a Pesquisa Operacional (PO), especialmente por meio da programação matemática, tem sido empregada na otimização de sistemas industriais, possibilitando a alocação eficiente de recursos escassos e a maximização da produtividade e da lucratividade. Tais técnicas vêm sendo cada vez mais adotadas por organizações que

buscam elevar o desempenho operacional sem comprometer a qualidade dos produtos ou a capacidade de atendimento ao mercado.

Na indústria de brinquedos, os processos produtivos apresentam elevada complexidade, demandando a gestão simultânea de múltiplas variáveis, como disponibilidade de matéria-prima, mão de obra, capacidade produtiva, mix de produtos e prazos de entrega. A ausência de um modelo estruturado de apoio à decisão pode resultar em desperdícios, ociosidade de recursos, priorização inadequada de produtos e redução da rentabilidade. Assim, a otimização da produção torna-se um fator determinante para garantir a viabilidade econômica e a competitividade da empresa em um mercado dinâmico e sujeito a constantes variações de demanda.

Diversos estudos evidenciam a Pesquisa Operacional como ferramenta de apoio à decisão. Pamplona e Bellis (2004) aplicaram um modelo de programação linear, resolvido pelo algoritmo Simplex, para otimizar o mix de produção em uma indústria têxtil. Ao considerar restrições de 1.512 horas/mês de capacidade de tecelagem e limites de demanda, o modelo identificou que a estratégia anterior da empresa era subótima. Como resultado, a solução matemática permitiu um aumento de 12,9% na margem de contribuição total, elevando-a de R\$ 246.680,88 para R\$ 278.490,40, além de reduzir a ociosidade das máquinas e priorizar produtos com maior rentabilidade por hora-máquina.

De forma semelhante, Castro, Borgert e Souza (2015) utilizaram a programação linear para otimizar o mix de produção em uma indústria de laticínios. O modelo buscou maximizar a margem de contribuição total sob restrições de matéria-prima, capacidade fabril e demanda de mercado. Os resultados indicaram que a solução ótima geraria um ganho de aproximadamente 4% (cerca de R\$ 511 mil) sobre o lucro alcançado pela estratégia anterior da empresa. O estudo demonstrou que itens como o Leite UHT Integral deveriam ser priorizados por sua alta demanda, validando a eficácia da Pesquisa Operacional em elevar a rentabilidade sem exigir novos investimentos físicos.

Diante deste cenário, o objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de Pesquisa Operacional, baseado em programação linear inteira mista, para a indústria de brinquedos, com aplicação na Nig Brinquedos, visando otimizar o planejamento da produção. O modelo proposto busca apoiar a tomada de decisões estratégicas, determinando quais produtos devem ser priorizados e em quais quantidades devem ser

produzidos de modo a maximizar a lucratividade e minimizar os custos respeitando as restrições operacionais e as condições do mercado.

Ao propor uma modelagem matemática aplicável a um caso real, este estudo contribui tanto para o aprimoramento da gestão produtiva da empresa quanto para o avanço da aplicação prática da Pesquisa Operacional no contexto industrial. Além disso, o método desenvolvido pode servir como referência para organizações do setor manufatureiro que desejem utilizar técnicas quantitativas para aumentar a eficiência de seus processos e melhorar seu desempenho financeiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico que fundamenta este estudo baseia-se nos conceitos e métodos da Pesquisa Operacional, com ênfase na programação matemática e em suas extensões, especialmente a programação linear e a programação inteira. Essas abordagens são amplamente utilizadas para modelar problemas reais por meio de representações matemáticas, permitindo analisar cenários complexos, alocar recursos de forma eficiente e apoiar a tomada de decisões em diferentes contextos produtivos (Taha, 2008; Hillier; Lieberman, 2013)¹.

O termo “pesquisa operacional” teve origem durante a Segunda Guerra Mundial, quando equipes multidisciplinares de cientistas foram mobilizadas para resolver problemas logísticos e estratégicos das forças armadas, tais como a alocação de recursos escassos, o posicionamento de radares, o planejamento de comboios e a otimização de rotas aéreas. A eficácia desses métodos impulsionou sua expansão para o setor civil a partir da década de 1950, passando a ser aplicada em áreas como civis, como indústria, transportes, saúde e serviços. Nos dias atuais, a PO é reconhecida como um campo científico consolidado que utiliza técnicas quantitativas para apoiar decisões complexas, contribuindo para maior eficiência, racionalidade e desempenho organizacional. (Hillier; Lieberman, 2013; Taha, 2008)

A essência da pesquisa operacional está na modelagem de problemas reais, na análise de alternativas e na escolha de soluções ótimas com base em critérios matemáticos.

¹ HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. Introdução à Pesquisa Operacional. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

Entre suas principais técnicas, destacam-se a programação linear, a programação inteira, a teoria das filas, a simulação, a análise multicritério e as redes de transporte. A programação matemática, portanto, é uma das ferramentas centrais dentro da PO, voltada para a resolução de problemas nos quais o objetivo — como minimizar custos ou maximizar lucros — é representado por uma função matemática, sujeita a um conjunto de restrições. Essa abordagem é especialmente útil em ambientes industriais, onde é necessário tomar decisões com base em limitações de capacidade, demanda e tempo de produção. (Hillier; Lieberman, 2013; Taha, 2008)²

Dessa forma, a utilização da programação matemática no contexto produtivo possibilita a construção de modelos que apoiam a definição do mix de produtos, o balanceamento da capacidade produtiva e a maximização do desempenho econômico. Tais fundamentos teóricos sustentam o desenvolvimento do modelo proposto neste estudo, voltado à otimização da produção na indústria de brinquedos.

2.1 Programação Matemática

A programação matemática é uma abordagem essencial dentro da pesquisa operacional, utilizada para transformar problemas do mundo real em modelos matemáticos. A modelagem matemática possibilita aos tomadores de decisão analisar cenários complexos e otimizar resultados. A programação matemática abrange diversas técnicas, como programação linear, programação inteira e programação não-linear, cada uma destinada a diferentes classes de problemas (Taha, 2008)³.

A programação binária é um caso específico da programação inteira em que as variáveis assumem apenas valores 0 ou 1. Essa representação é particularmente útil quando as decisões são discretas — por exemplo, ativar ou não uma máquina, selecionar ou não um produto, ou impor relações de precedência e exclusões mútuas. A Programação Linear Inteira Mista (PLIM), por sua vez, combina variáveis contínuas (como quantidades a produzir) e variáveis inteiras ou binárias (como setups ou ativações), permitindo capturar

² TAHA, H. A. Pesquisa Operacional. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

³ TAHA, H. A. Pesquisa Operacional. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

com fidelidade características discretas dos sistemas produtivos e, ao mesmo tempo, otimizar grandezas contínuas relevantes (Hillier; Lieberman, 2013; Taha, 2008; Winston, 2004)⁴.

Modelo genérico de PLIM, em forma dissertativa: considera-se a maximização (ou minimização) de uma função objetivo linear nas variáveis de decisão, sujeita a um conjunto de restrições lineares que limitam recursos como tempo de máquina, mão de obra e materiais. O vetor de decisão é composto por variáveis contínuas, inteiras e binárias, de modo que a solução resultante respeite simultaneamente as disponibilidades tecnológicas e as exigências de demanda. (Hillier; Lieberman, 2013; Taha, 2008)

Este é o tipo de modelo adotado neste trabalho, pois permite representar o sistema produtivo da Nig Brinquedos com suas restrições de capacidade e suas metas econômico-financeiras.

2.1.2 Programação Binária e Programação Linear Inteira Mista

Ainda segundo Taha (2008), a programação matemática é aplicada em diversos setores, incluindo engenharia, logística, finanças e operações. Um exemplo notável é o uso da programação linear no planejamento da produção, em que a alocação eficiente de recursos auxilia a maximizar lucros ou minimizar custos. Conforme destacado por Loesch e Hein (2009)⁵, "a variedade de aplicações evidencia a importância da programação matemática como um instrumento de decisão em ambientes complexos".

É importante destacar que a eficácia da programação matemática depende da qualidade dos dados utilizados na modelagem. Dados imprecisos podem levar a soluções subótimas ou inviáveis, tornando a coleta e análise de informações etapas fundamentais para o sucesso da otimização (Colin, 2011)⁶. Assim, a combinação de modelagem rigorosa e dados confiáveis constitui a chave para a aplicação eficaz da programação matemática em qualquer contexto.

⁴ WINSTON, W. L. Operations Research: applications and algorithms. 4. ed. Belmont: Thomson Brooks/Cole, 2004.

⁵ LOESCH, C.; HEIN, N. Pesquisa Operacional: guia de técnicas de tomada de decisão. São Paulo: Saraiva, 2009.

⁶ COLIN, E. C. Pesquisa Operacional: 170 aplicações reais. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

2.1.3 Programação Linear e Programação Linear Inteira

A programação inteira e a programação linear inteira mista (PLIM) apresentam amplo uso em ambientes de manufatura, sendo ferramentas fundamentais para a definição de estratégias produtivas. Em planejamento do mix de produção as formulações determinam quantidades ótimas a produzir sob múltiplas restrições de capacidade, buscando equilibrar a oferta com a demanda de mercado (Hillier; Lieberman, 2013). No contexto da Nig Brinquedos, essa abordagem permite representar de forma integrada as etapas de gráfica, injeção, corte a laser e montagem, fornecendo uma base quantitativa para a tomada de decisão.

Na indústria mobiliária, Arenales et al. (2007)⁷ demonstram que a aplicação de modelos matemáticos para a otimização do corte de chapas e montagem de componentes é crucial para a redução do desperdício de matéria-prima. Os autores destacam que o uso de variáveis binárias e inteiras permite modelar problemas de estoque e setups de máquinas, proporcionando um sequenciamento de produção mais fluido e elevando a produtividade global da planta. De forma análoga, na indústria metalúrgica, a programação inteira é utilizada para o planejamento de fundição e laminação, onde restrições técnicas de processo são fundamentais para garantir a qualidade do produto final (Taha, 2008).

No setor de calçados, caracterizado por um alto mix de produtos e demanda sazonal, a programação linear é frequentemente aplicada para otimizar a alocação de pedidos em diferentes linhas de montagem. Estudos nesse setor demonstram que modelos de otimização permitem reduzir custos logísticos internos e equilibrar a carga de trabalho entre as células de produção, mitigando gargalos e ociosidades (Moretti, 2018; Peinado; Graeml, 2007)⁸. Este cenário assemelha-se ao desafio enfrentado pela Nig Brinquedos, onde a variedade de itens demanda um balanceamento preciso entre as etapas de injeção plástica e montagem final, visando a maximização da produtividade global.

⁷ ARENALES, M. N.; ARMENTANO, V.; YANASSE, H. H.; PERAÇA, P. Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

⁸ PEINADO, J.; GRAEML, A. R. Administração da Produção: operações industriais e de serviços. Curitiba: UnicenP, 2007.

Adicionalmente, a aplicação da programação matemática estende-se ao setor de bebidas, caracterizado por processos produtivos de alta velocidade e complexidade logística. Toledo et al. (2007)⁹ utilizaram modelos de programação inteira mista para otimizar o planejamento e o sequenciamento da produção em fábricas de refrigerantes. O estudo focou na redução dos custos de setup e na gestão eficiente dos estoques de produtos acabados, considerando a limitada capacidade de armazenamento e as flutuações sazonais de demanda. Os resultados evidenciaram que a modelagem permite uma melhor sincronização entre a produção e a distribuição, garantindo que o mix de produtos atenda ao mercado com o menor custo operacional possível, reforçando a aplicabilidade da PLIM em sistemas de manufatura contínua e discreta.

Por fim, a literatura destaca a importância da Pesquisa Operacional em problemas de localização e logística industrial. Segundo Cunha (2000)¹⁰, modelos de programação inteira são fundamentais para otimizar o fluxo de distribuição, garantindo que os produtos acabados cheguem aos centros de consumo com o menor custo de transporte possível. Essa visão integrada, que une a produção à logística, reforça a relevância da PLIM como um suporte estratégico para empresas que buscam competitividade em mercados dinâmicos e com margens de lucro pressionadas por custos operacionais.

3 METODOLOGIA

Conforme definições de Gil (2002)¹¹ e Lakatos e Marconi (2003)¹², quanto à sua natureza, o presente estudo caracteriza-se como pesquisa aplicada, pois busca gerar conhecimento com finalidade prática, direcionado à solução de um problema específico enfrentado pela empresa Nig Brinquedos, relacionado à otimização do planejamento produtivo e à maximização da rentabilidade.

⁹ TOLEDO, F. M. B.; ARMENTANO, V. A.; ALEGRE, I. T. A multi-plant production planning problem in the soft drink industry. *Computers & Operations Research*, v. 34, n. 11, p. 3466-3488, 2007.

¹⁰ CUNHA, C. B. Aspectos práticos da aplicação de modelos de programação matemática a problemas de localização de instalações e de logística. *Gestão & Produção*, v. 7, n. 2, p. 210-224, 2000.

¹¹ GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

¹² LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Fundamentos de metodologia científica. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

No que se refere à abordagem do problema, a pesquisa é quantitativa, uma vez que utiliza dados numéricos, variáveis mensuráveis e técnicas de modelagem matemática, especialmente programação linear inteira mista, para estruturar o problema produtivo e apoiar a tomada de decisão por meio de métodos analíticos e computacionais.

Quanto aos objetivos, classifica-se como descritiva, pois procura analisar, registrar e interpretar as características do sistema produtivo da empresa, identificando restrições operacionais, capacidades produtivas, custos e demandas, com o propósito de compreender o funcionamento do processo e propor melhorias. Adicionalmente, apresenta caráter explicativo, ao investigar relações entre variáveis e demonstrar como a aplicação de modelos de otimização pode influenciar o desempenho econômico da produção.

Em relação aos procedimentos técnicos, o estudo configura-se como um estudo de caso, por concentrar-se na análise aprofundada de uma única organização, a Nig Brinquedos, permitindo examinar detalhadamente seu contexto operacional real. Complementarmente, utiliza modelagem matemática como estratégia de investigação, por meio da construção de um modelo de programação linear inteira mista implementado no software Excel Solver, possibilitando testar cenários e avaliar alternativas de decisão, dessa forma, a pesquisa pode ser formalmente classificada como aplicada, quantitativa, descritivo-explicativa, conduzida por meio de estudo de caso com modelagem matemática.

Para o alcance dos objetivos propostos, a pesquisa foi estruturada em quatro fases principais, sendo a primeira o levantamento de dados. Nessa etapa, foram utilizados dados fornecidos pela empresa, previamente analisados, organizados e computados pelos gestores de produção em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel. Posteriormente, essas informações passaram por um processo de revisão e validação, a fim de garantir sua consistência e confiabilidade para aplicação no presente trabalho. A partir dessa base de dados, foram obtidas informações referentes aos custos unitários de produção, margens de contribuição, demanda estimada, tempos de processamento, capacidade produtiva e disponibilidade de recursos, além da identificação das principais restrições do sistema produtivo, como limitações de matéria-prima, tempo de máquina, mão de obra e espaço de armazenamento, que serviram de fundamento para a formulação do modelo matemático.

Desenvolvimento do modelo matemático: Com base nos dados coletados, foi construído um modelo de programação linear inteira mista, no qual se definiram as

variáveis de decisão, a função objetivo e o conjunto de restrições operacionais. A função objetivo foi formulada com o propósito de maximizar a rentabilidade da empresa, enquanto as restrições representaram as limitações de capacidade produtiva, recursos disponíveis e demanda de mercado. O modelo resultante possibilita determinar o mix ótimo de produção, indicando as quantidades ideais de cada produto a serem fabricadas para maximizar o desempenho financeiro.

Implementação computacional: O modelo proposto foi implementado por meio do programador Solver do Microsoft Excel, ferramenta utilizada para resolução de problemas de otimização. Foram realizadas simulações considerando diferentes cenários produtivos, permitindo avaliar a robustez do modelo e verificar a viabilidade das soluções encontradas.

Análise dos resultados: Por fim, os resultados obtidos foram analisados e interpretados com o objetivo de identificar quais produtos devem ser priorizados e quais decisões de alocação de recursos conduzem à maximização do lucro. A solução otimizada foi comparada à situação atual da empresa, possibilitando evidenciar potenciais ganhos de eficiência, redução de desperdícios e aumento da lucratividade.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação dos modelos de programação linear inteira mista desenvolvidos para o problema de otimização da produção da Nig Brinquedos. Inicialmente, são descritos os dados coletados e os parâmetros utilizados na modelagem, incluindo custos, capacidades produtivas, restrições operacionais e estimativas de demanda. Em seguida, detalha-se a estrutura matemática do modelo, contemplando variáveis de decisão, função objetivo e restrições.

Posteriormente, são apresentadas as soluções geradas pelo modelo computacional, bem como as simulações realizadas para diferentes cenários produtivos. Essas análises permitem avaliar o comportamento do sistema diante de variações nos recursos disponíveis e nas condições de mercado, identificando o mix ótimo de produção e seus impactos sobre a rentabilidade.

Por fim, realiza-se a comparação entre os resultados obtidos pelo modelo otimizado e a situação atualmente praticada pela empresa, com o intuito de evidenciar ganhos

potenciais de eficiência, melhor alocação de recursos e aumento da lucratividade. Dessa forma, busca-se demonstrar como a modelagem matemática e as técnicas de Pesquisa Operacional podem contribuir de maneira objetiva para decisões produtivas mais racionais, eficientes e economicamente sustentáveis.

4.1 Apresentação da Empresa

A Nig Brinquedos é uma empresa brasileira atuante no setor de brinquedos desde 1959, consolidando-se ao longo de sua trajetória como uma das referências no mercado nacional. Suas atividades tiveram início no segmento gráfico, com foco na produção de materiais impressos, área na qual desenvolveu expertise técnica e capacidade produtiva própria.

Com o passar dos anos, a empresa diversificou seu portfólio e expandiu suas operações para o setor de brinquedos, incorporando gradativamente novas linhas de produtos e ampliando sua estrutura industrial. Mesmo com essa expansão, a atividade gráfica foi mantida em seu processo produtivo, permitindo a fabricação interna de embalagens e materiais de apoio, o que contribui para maior controle de qualidade, redução de custos e integração vertical da produção.

Atualmente, a Nig Brinquedos está localizada no município de Santa Rosa de Viterbo (SP) e é administrada pela segunda geração da família fundadora. A gestão preserva os valores e as tradições que marcaram a história da organização, ao mesmo tempo em que investe em inovação, modernização de processos e crescimento sustentável, buscando manter sua competitividade em um mercado dinâmico e em constante transformação.

O portfólio da empresa abrange cinco linhas principais de produtos, voltadas para diferentes segmentos de mercado: brinquedos educativos, que estimulam a criatividade e a coordenação motora das crianças; jogos de tabuleiro, que incentivam o raciocínio lógico, a interação social e a aprendizagem por meio de desafios e estratégias; brinquedos de madeira (MDF), que se destacam pela maior durabilidade e pelo foco sustentável; produtos de EVA, amplamente utilizados em atividades educativas e artesanais em escolas e ambientes domésticos; e a linha de licenças, com brinquedos e jogos de personagens e

marcas conhecidas, o que agrega valor e amplia a presença da empresa no mercado, como nos casos de Patrulha Canina, Moana, Stitch e Turma da Mônica, entre outros.

A empresa mantém gestão de caráter familiar, com o gerente geral Sr. Roberto Cardeña à frente. Cada área, tanto operacional quanto administrativa, conta com gestores com autonomia para tomada de decisões operacionais, garantindo agilidade nos processos. Porém, mudanças estratégicas, como lançamento, expansão ou grandes investimentos, exigem alinhamento com a gerência geral. Com noventa e oito colaboradores, a Nig Brinquedos prioriza qualidade, segurança e sustentabilidade, além de desenvolver ações sociais como doações de brinquedos e participação em projetos comunitários.

Além das informações apresentadas anteriormente, ressalta-se que a empresa mantém práticas básicas de sustentabilidade e ações sociais, e que sua estratégia produtiva está orientada à eficiência operacional e à qualidade, fatores que dialogam diretamente com a abordagem de otimização aqui proposta. Apesar de consolidada no mercado nacional, a empresa não atua em importações ou exportações, mantendo o foco na otimização de processos internos e na competitividade. implementa um sistema de gestão de qualidade para garantir que todos os brinquedos atendam aos padrões exigidos pela indústria. Além disso, a empresa adota práticas básicas de sustentabilidade, como segregação de resíduos, revenda de sobras de papel da produção de embalagens e utilização de madeira MDF na fabricação de brinquedos. Na frente social, a empresa está ativamente envolvida nas comunidades locais, promovendo doações de brinquedos para instituições de caridade e distribuindo produtos para crianças da região durante a época de Natal. Além dessas iniciativas, a Nig Brinquedos também realizou atividades como a doação de 300 itens educativos que aliam aprendizado e conscientização ambiental na Ecobrinquedoteca de Santa Rosa de Viterbo, demonstrando seu real compromisso com a comunidade.

Embora integrada no mercado nacional, a Nig Brinquedos não importa nem exporta, nem é negociada publicamente, mantendo-se focada na otimização dos processos internos e na melhoria da competitividade. Com uma história de mais de 60 anos, a empresa sempre teve o compromisso de fornecer produtos educativos e inovadores, sempre pautados pela qualidade, pela responsabilidade social e pela busca contínua pelo aprimoramento.

4.1.2 Composição de Tempo de Produção

O tempo de produção dos brinquedos da Nig Brinquedos é composto por quatro etapas principais: gráfica, injetora, corte a laser e montagem. Cada uma dessas fases representa uma parte fundamental do processo produtivo e, juntas, determinam o tempo total necessário para que um produto esteja finalizado e pronto para distribuição. A complexidade do produto, o número de itens que o compõem e os recursos utilizados em cada fase têm influência direta sobre esse tempo, gerando variações importantes entre os diferentes modelos fabricados pela empresa.

Na etapa gráfica, são produzidos os componentes impressos, como tabuleiros, cartas, manuais, embalagens e etiquetas. Essa fase é operacionalizada por meio de duas impressoras gráficas, uma máquina de verniz, três máquinas de acoplamento de madeira e micro e cinco máquinas de corte e vinco. Quando um produto contém muitos itens gráficos, como nos jogos de tabuleiro mais elaborados, o tempo nessa etapa tende a ser significativamente maior. Isso ocorre porque há necessidade de realizar vários processos encadeados, desde a impressão até o acabamento final, incluindo acoplamento de materiais e cortes personalizados. Quanto maior o número de peças e mais complexa for a geometria dos cortes, maior será o tempo exigido para que a etapa gráfica seja concluída.

A etapa seguinte envolve a injeção plástica, realizada com o apoio de treze injetoras industriais. Nessa fase são produzidos itens como bolinhas de bingo, roleta do stop, peões, suportes e acessórios moldados em plástico. A duração desta etapa está diretamente relacionada ao número de peças plásticas que integram o produto, à complexidade dos moldes e à necessidade de troca de ferramentas nas máquinas. Produtos que exigem diferentes tipos de peças plásticas, ou que utilizam moldes com ciclos de injeção mais demorados, naturalmente aumentam o tempo de fabricação nessa fase.

O corte a laser, por sua vez, é responsável pela produção de peças feitas em materiais de MDF. Utilizando seis máquinas específicas para essa operação, a empresa realiza cortes de alta precisão, geralmente aplicados em brinquedos educativos ou kits artesanais. Produtos que requerem cortes mais detalhados ou com grande número de peças individuais tendem a aumentar o tempo nessa fase, uma vez que o laser precisa percorrer

traçados mais longos ou executar gravações mais lentas, especialmente em materiais espessos ou de maior densidade.

Por fim, a etapa de montagem reúne todos os itens produzidos nas fases anteriores. Nela, os operadores organizam, montam, embalam e finalizam os produtos, preparando-os para comercialização. Essa etapa é altamente influenciada pela quantidade de componentes que o produto possui. Quanto mais elementos precisam ser organizados e posicionados dentro da embalagem, maior será o tempo necessário para a conclusão dessa tarefa. Produtos com múltiplos itens, que demandam cuidado na disposição ou que exigem a montagem de kits com divisórias internas e instruções de uso detalhadas, acabam consumindo mais tempo na linha de montagem. Além disso, a sincronização logística das peças vindas das outras etapas influencia o ritmo da montagem, podendo acelerar ou retardar o tempo total de finalização do produto.

Dessa forma, observa-se que o tempo de produção de cada item da Nig Brinquedos é resultado de um conjunto de fatores interdependentes, os quais variam de acordo com o tipo e a complexidade do produto, os recursos exigidos em cada etapa e a integração entre os setores produtivos da empresa. Compreender essas variáveis é fundamental para que o modelo matemático proposto neste trabalho represente fielmente a realidade da empresa e ofereça soluções viáveis para a otimização da produção.

4.2 Formulação dos Modelos Matemáticos

Com base nos dados coletados sobre os produtos e o sistema produtivo da Nig Brinquedos, foram desenvolvidos dois modelos distintos de programação linear inteira, ambos estruturados a partir das mesmas variáveis de decisão e restrições operacionais, diferenciando-se apenas quanto à função objetivo adotada.

O primeiro modelo foi formulado com o propósito de minimizar o custo total de produção, buscando identificar a combinação de produtos que atenda às demandas e limitações do sistema produtivo com o menor dispêndio possível de recursos. O segundo modelo teve como objetivo maximizar o lucro total diário, priorizando o mix de produção que proporcione maior retorno financeiro à empresa, considerando margens de contribuição e capacidades disponíveis.

Ambos os modelos incorporam as mesmas restrições operacionais e de mercado, tais como disponibilidade de matéria-prima, capacidade de máquinas, tempo de produção, limites de demanda e demais condicionantes do processo produtivo. Essa padronização das restrições permite a comparação direta entre os cenários, possibilitando avaliar os impactos de diferentes estratégias de otimização sobre o desempenho econômico e operacional da empresa.

4.2.1 Modelo de Minimização do Custo

Objetivo: Minimizar o custo total diário de produção dos produtos, considerando os custos unitários e a quantidade produzida de cada item.

Minimizar: $Z = \sum_{i=1}^n c_i \cdot x_i$

Onde:

x_i : quantidade produzida do produto i

c_i : custo unitário de produção do produto i

n : total de produtos (32 neste estudo)

Restrições:

Demanda mínima diária: $x_i \geq d_i, \forall i \in \{1, 2, \dots, 32\}$

Tempo por etapa de produção: $\sum t_{gi} \cdot x_i \leq 540$ (Gráfica) $\sum t_{mi} \cdot x_i \leq 540$ (Montagem) $\sum t_{ii} \cdot x_i \leq 540$ (Injetora) $\sum t_{li} \cdot x_i \leq 540$ (Laser)

Demanda total: $\sum x_i \geq \sum d_i$

4.2.2 Modelo de Maximização do Lucro

Objetivo: Maximizar o lucro total diário, considerando a receita líquida unitária de cada produto.

Maximizar: $Z = \sum_{i=1}^n l_i \cdot x_i$

Onde:

l_i : lucro líquido por unidade do produto i

Restrições:

1. Demanda máxima diária: $x_i \leq d_i, \forall i \in \{1, 2, \dots, 32\}$
2. Tempo por etapa: $\sum t_{gi} \cdot x_i \leq 540, \sum t_{mi} \cdot x_i \leq 540, \sum t_{ii} \cdot x_i \leq 540, \sum t_{li} \cdot x_i \leq 540$
3. Demanda total: $\sum x_i \leq \sum d_i$

4.3 Parâmetros utilizados nos modelos

Tabela 1 – Levantamento de produtos, valores tempo e demanda – Nig Brinquedos - 2026

Código	Produto	Lucro Líquido(un)	Tempo	Demanda
419	MAD. APRENDENDO AS HORAS	R\$ 3,75	15,3117	4.865
452	MAD. CRESCER - FORMA BICHOS	R\$ 3,61	1,09	6.142
680	BQ - KIT PINTURA - PATRULHA CANINA	R\$ 7,51	0,88	12.785
768	MAD. PRIMEIRAS CONTAS - TURMA DA MÔNICA	R\$ 7,93	1	1.229

723	JG - TAPA NA MESA - GALINHA PINTADINHA	R\$ 7,32	1,43	1.027
1121	JG - BATALHA NAVAL	R\$ 4,98	1,74	8.086
1133	JOGO - MERCADO DA BOLA	R\$ 6,69	1,74	9.234
1059	JG - DAMA & LUDO	R\$ 2,35	2,11	6.578
320	BQ - SUPER POSTO	R\$ 1,50	2,48	8.742
1000	JG - BINGO - 48 CARTELAS	R\$ 2,12	2,83	89.251
739	JG - EU SEI! - SHOW DA LUNA	R\$ 9,42	1,55	1.826
457	MAD. CRESCER - ALINHAVO	R\$ 7,67	2,97	6.787
465	MAD. QUADRO DAS EMOÇÕES	R\$ 13,80	0,89	5.129
2002	BQ - STRONG ECO - GREEN	R\$ 5,22	2,75	1.636
692	MAD. Q. C. BABY BITA E OS ANIMAIS	R\$ 10,08	0,94	3.436
582	BQ - KIT DE PINTURA LM	R\$ 4,94	1,1	1.847
1134	JG - LINHA DO TEMPO	R\$ 11,16	2,38	1.561
1115	JG - AGENTE SECRETO	R\$ 12,29	2,04	8.642
1148	JG - IMPROVISO TOTAL	R\$ 11,90	1,93	3.789
1103	JG - BOA VIAGEM MUNDO	R\$ 10,13	2,17	4.708
691	MAD. MEMÓRIA MUNDO BITA	R\$ 6,55	1	1.263
130	BQ - CARIMBOS PETS - 8 PEÇAS	R\$ 2,52	0,76	2.758
426	MAD. - MATERIAL DOURADO - 62 PEÇAS	R\$ 2,75	0,54	6.238
284	Q. C. - SISTEMA SOLAR - 108 PEÇAS	R\$ 4,23	1,14	1.326
295	Q. C. - BALÕES - 500 PEÇAS	R\$ 8,07	1,77	1.698
602	BQ - EU BRINCO DE CASINHA - CAFÉ C/ BOLINHO	R\$ 3,57	2,22	5.831
609	BQ - KIT LIMPEZA	R\$ 0,41	1,58	10.975
1633	BQ - LABORATÓRIO DE QUÍMICA	R\$ 3,09	4,16	8.205
684	MAD. - EQUILIBRA FILHOTES - PATRULHA CANINA	R\$ 3,80	0,96	12.620

761	JG - 4 JOGOS CLÁSSICOS TURMA DA MÔNICA	R\$ 6,99	1,81	2.970
579	JG - ACHEI ! - LM	R\$ 6,29	1,21	1.884
1640	BQ LABORATÓRIO - MANUAL DO MUNDO	R\$ 7,36	2,49	19.495

Fonte: Dados internos da empresa em análise no artigo. Elaborada por Cardeña, Antonio. Brasil, São Paulo, 2026.

4.4 Resultados

Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da aplicação da Programação Linear Inteira Mista (PLIM) no suplemento Solver do Excel. A análise foi estruturada com base em dois cenários distintos de tomada de decisão: o primeiro, de maximização do lucro líquido e, o segundo, de minimização dos custos de produção. Ambos os modelos foram desenvolvidos considerando as restrições reais de capacidade produtiva e de atendimento da demanda da Nig Brinquedos, de modo a representar, de forma fiel, as condições operacionais da empresa.

A comparação entre os cenários permite compreender os trade-offs existentes entre eficiência de custos e desempenho econômico, evidenciado como diferentes objetivos de otimização podem conduzir a composições distintas do mix de produção e, consequentemente, a resultados também distintos para a organização.

4.4.1 Modelo de minimização

O modelo de minimização teve como finalidade identificar a estratégia produtiva capaz de gerar o menor desembolso financeiro possível para a empresa. Em uma análise inicial, observou-se que, na ausência de restrições relacionadas à manutenção do portfólio, a solução matemática ótima tenderia a indicar a eliminação completa da produção, pois essa solução reduziria os custos operacionais a zero. No entanto, do ponto de vista gerencial, essa solução não se mostra adequada, uma vez que a eliminação completa da produção comprometeria a continuidade operacional e comercial da empresa.

Para assegurar a comparabilidade entre os cenários, estabeleceu-se a manutenção de 22 produtos ativos, quantidade equivalente ao mix ótimo indicado pelo modelo de maximização.

Com essa condição, o modelo passou a selecionar os itens com os menores custos unitários de produção, resultando em um custo total de R\$ 739.573,62. Entre os produtos priorizados exclusivamente por este modelo, destacam-se o “mad crescer - alinhavo” e o “jg - dama & ludo”, os quais apresentam estruturas de custos mais enxutas e, portanto, maior aderência ao objetivo de economia operacional.

Embora esse cenário se mostre eficiente sob a ótica da economia de recursos, seu desempenho econômico foi inferior quando analisado sob a ótica da geração de resultados. O lucro total obtido foi de R\$ 511.987,71, configurando o menor valor entre as duas simulações realizadas. Isso indica que a simples redução de custos, embora importante, não necessariamente garante o melhor resultado global para a empresa.

4.4.2 Modelo de maximização

O modelo de maximização, por sua vez, foi desenvolvido com o propósito de identificar o mix de produção capaz de proporcionar o maior retorno financeiro possível, respeitando as limitações de capacidade e tempo de produção. Nesse caso, a lógica de decisão priorizou produtos com maior contribuição para o resultado, ainda que isso implicasse custos produtivos mais elevados.

Os resultados evidenciaram desempenho superior em termos de geração de valor econômico. O modelo alcançou lucro total de R\$ 787.205,52, o que representa um ganho de aproximadamente 53% em relação ao cenário de minimização de custos. Em contrapartida, para atingir esse desempenho, o custo total de produção elevou-se para R\$ 1.424.349,03.

O mix resultante priorizou itens de alta margem de contribuição, como o “bq - kit pintura patrulha canina” (lucro líquido de R\$ 7,51) e o “jg - mercado da bola” (R\$ 6,69). Estes produtos consomem mais recursos financeiros na produção, porém devolvem à empresa uma rentabilidade superior por hora de ocupação das linhas de injeção e montagem.

Esse tipo de modelo mostra-se mais aderente a uma estratégia orientada ao crescimento dos resultados financeiros da empresa, uma vez que prioriza produtos com maior margem de contribuição, mesmo que isso implique um aumento dos custos de produção. Diferentemente do modelo de minimização, que busca reduzir o desembolso financeiro preservando a rentabilidade, o modelo de maximização aceita um maior investimento em recursos produtivos para alcançar um lucro absoluto mais elevado. Assim, ambos os modelos proporcionam resultados financeiros positivos, porém com estratégias distintas: um privilegia a eficiência na utilização dos recursos e o outro prioriza a ampliação do lucro total obtido pela operação.

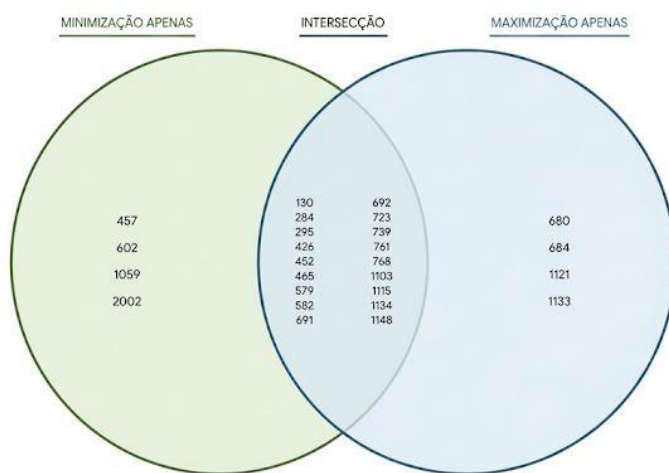
4.4.3 Análise comparativa dos cenários

A comparação entre os dois modelos evidencia que as soluções obtidas dependem diretamente da função objetivo adotada, a qual influencia a composição do mix produtivo e os resultados financeiros alcançados.

Embora ambos os cenários tenham trabalhado com um mix limitado a 22 produtos, verificou-se diferença significativa entre os itens selecionados em cada solução. Alguns produtos estiveram presentes em ambos os modelos, devido ao bom equilíbrio entre rentabilidade, demanda e eficiência produtiva. Entretanto, outros foram priorizados apenas em cenários específicos.

A Figura 1 abaixo apresenta um diagrama de Venn com a comparação dos mixes de produtos selecionados em cada modelo, destacando tanto os produtos exclusivos de cada solução quanto aqueles comuns a ambos os modelos.

Figura 1 – Diagrama de Venn: Comparação de mixes de produtos



Código	Descrição do Produto	Modelo
130	CARIMBOS PETS - 8 PEÇAS	Intersecção
264	SISTEMA POLAR - 108 PEÇAS	Intersecção
295	BALÕES - 500 PEÇAS	Intersecção
426	MATERIAL DOURADO - 62 PEÇAS	Intersecção
452	CRESCEER - FORMA BICHOS	Intersecção
457	CRESCEER - ALINHAVO	Minimização
465	QUADRO DAS EMOÇÕES	Intersecção
579	ACHÉ II - LM	Intersecção
682	KIT DE PINTURA LM	Intersecção
602	EU BRINCO DE CASINHA - CAFÉ C/BOLINHO	Minimização
602	KIT PINTURA - PATRULHA CANINA	Maximização
684	EQUILIBRA PILHOTES - PATRULHA CANINA	Maximização
691	MEMÓRIA MUNDO BITA	Intersecção
692	Q. C. BABY BITA E OS ANIMAIS	Intersecção
723	TAPA NA MESA - GALINHA PINTADINHA	Intersecção
739	EU SEI - SHOW DA LUNA	Intersecção
731	4 JOGOS CLÁSSICOS TURMA DA MÔNICA	Intersecção
268	PRIMEIRAS CONTAS - TURMA NA MÔNICA	Intersecção
1059	DAMA & LUDO	Minimização
1103	BOLA VIAGEM MUNDO	Intersecção
1115	AGENTE SECRETO	Intersecção
1121	BATALHA NAVAL	Maximização
1133	MERCADO DA BOLA	Maximização
1134	LINHA DO TEMPO	Intersecção
1148	IMPROVISO TOTAL	Intersecção
2002	STRONO ECO - GREEN	Minimização

Fonte: Elaborada a partir de banco de dados próprios fornecidos pela empresa Nig Brinquedos, Santa Rosa de Viterbo, SP. 2026

A análise comparativa do portfólio por meio do diagrama de Venn revela que a programação linear estabelece uma expressiva zona de estabilidade operacional na fábrica, concentrando 81,8% dos produtos ativos na região de intersecção. A permanência de 18 códigos comuns em ambas as soluções do Solver demonstra que a maior parte do mix de brinquedos atende de forma simultânea aos critérios de eficiência de custos e de rentabilidade líquida. Do ponto de vista da engenharia de produção, essa convergência é estratégica, pois valida a flexibilidade da operação industrial e comprova que transições de diretrizes corporativas não exigem reestruturações severas no sequenciamento de setup e na alocação de mão de obra.

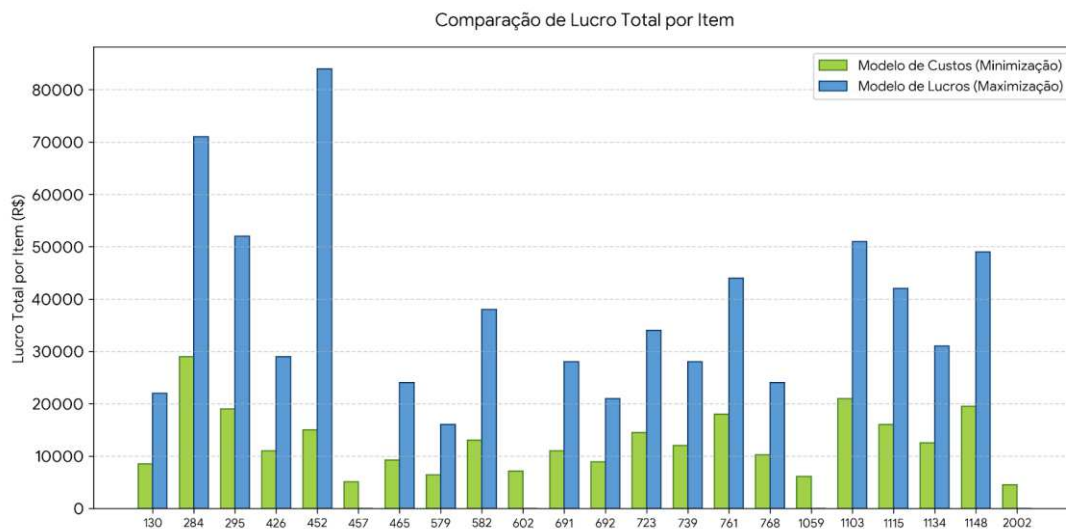
Já as extremidades do diagrama isolam as funções-alvo diante das restrições físicas e mercadológicas da empresa. No modelo de minimização de custos, o solver ativa produtos com estruturas de insumos enxutas e menor dependência de processos complexos, comprimindo as despesas totais para R\$ 739.573,62. Em contrapartida, ao migrar para a maximização, o modelo descarta esse grupo e convoca itens de elevado valor agregado e apelo comercial — como os produtos licenciados — onde as margens brutas compensam a maior ocupação dos tempos de ciclo nas injetoras e na montagem, impulsionando o lucro para R\$ 787.205,52.

A distribuição gráfica dos códigos evidencia o clássico trade-off financeiro que governa a tomada de decisão em Pesquisa Operacional. Os dados consolidados expõem que a conquista de um incremento de 53,8% no lucro líquido exige, em contrapartida, uma expansão drástica de 92,6% nos aportes de capital de giro voltados ao custeio fabril. Dessa forma, o diagrama de Venn deixa de ser apenas uma representação matemática e consolida-se como uma ferramenta de governança corporativa, cabendo à diretoria avaliar o cenário macroeconômico para definir se a organização deve adotar uma postura de proteção de caixa ou de expansão de margens.

No modelo de minimização de custos, o Solver privilegiou produtos com menor custo operacional e menor impacto sobre os recursos produtivos, ainda que apresentassem margens de lucro mais modestas. Já no modelo de maximização do lucro, a priorização recaiu sobre produtos com maior margem líquida e maior retorno econômico por unidade produzida.

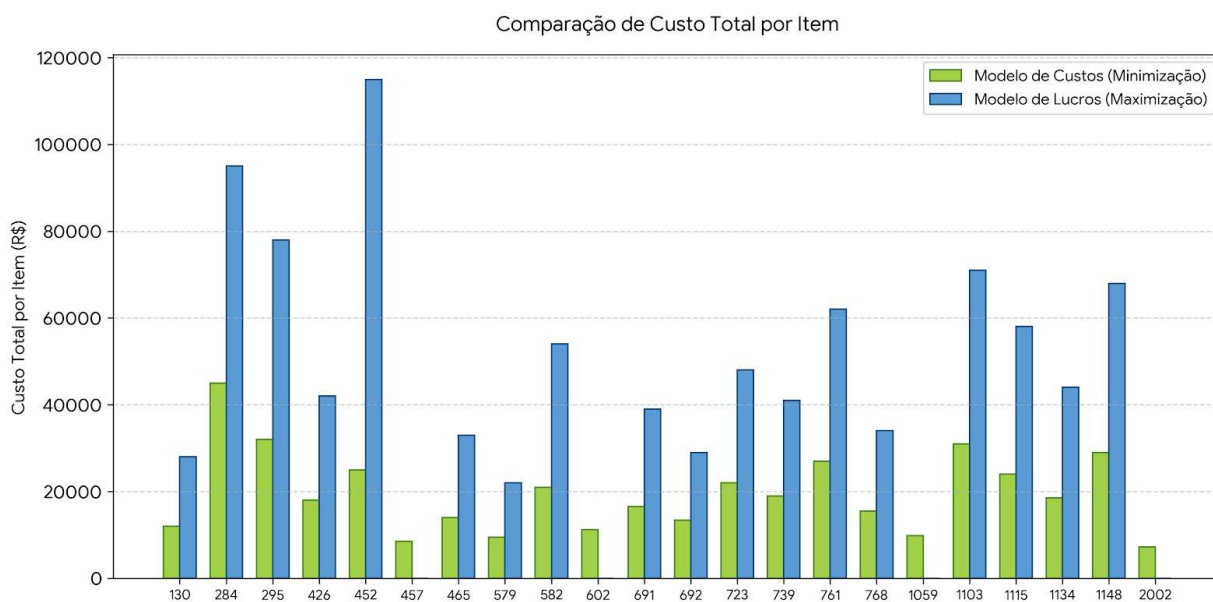
As Figuras 2 e 3 apresentam a distribuição dos custos e dos lucros unitários dos produtos selecionados em cada mix, possibilitando analisar as diferenças entre os itens priorizados pelo modelo de minimização e pelo modelo de maximização.

Figura 2 – Comparação de lucro total por item



Fonte: Elaborada a partir de banco de dados próprios fornecidos pela empresa Nig Brinquedos, Santa Rosa de Viterbo, SP. 2026

Figura 3 – Comparação de custo total por item



Fonte: Elaborada a partir de banco de dados próprios fornecidos pela empresa Nig Brinquedos, Santa Rosa de Viterbo, SP. 2026

A análise comparativa do custo e do lucro total por item revela como o Solver altera drasticamente o volume de produção para se ajustar a cada meta. No cenário focado em custos (barras verdes), o algoritmo distribui a fabricação de forma mais comedida e uniforme, nivelando os gastos operacionais entre os produtos. Já no cenário focado em

lucros (barras azuis), o sistema muda o comportamento por completo: ele concentra de forma agressiva o esforço e a matéria-prima em itens estratégicos de alta margem — fazendo o custo e o lucro de códigos como o 452 dispararem verticalmente —, enquanto zera a fabricação dos itens exclusivos da minimização (códigos 457, 602, 1059 e 2002), cujas barras azuis desaparecem do mapa para abrir espaço nas máquinas.

Esse comportamento cruzado prova visualmente que o modelo de maximização prefere "saturar" a capacidade da planta com os brinquedos mais rentáveis do mix, oferecendo um excelente painel visual para o Planejamento e Controle da Produção (PCP). Enquanto o primeiro gráfico mapeia o risco e a necessidade de capital de giro através do desembolso por produto, o segundo aponta com precisão quais códigos justificam esse investimento ao trazerem o maior retorno líquido absoluto. Ter esses dados pareados em barras permite à diretoria pesar instantaneamente o ganho real de receita contra o consumo de recursos na linha de montagem, facilitando a tomada de decisão estratégica entre proteger o caixa ou expandir as margens.

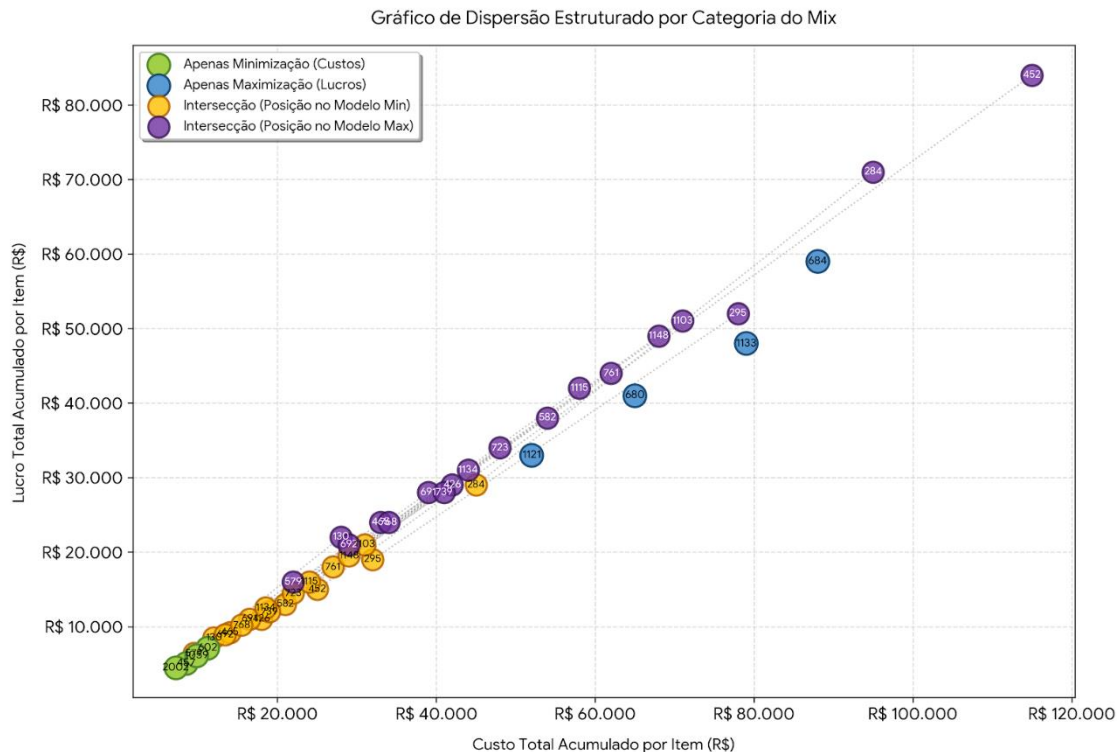
Também foi possível observar que alguns produtos relevantes para a estratégia comercial da empresa não apareceram no mix ótimo indicado pelos modelos matemáticos. Isso ocorre porque a modelagem considera predominantemente critérios quantitativos, como custo, lucro e tempo produtivo, não incorporando, de forma direta, fatores estratégicos e mercadológicos.

Um exemplo importante é o produto “Jg – Bingo 48 cartelas”. Apesar de possuir margem de lucro relativamente reduzida, esse item desempenha papel estratégico para a empresa, funcionando como um produto promocional de entrada. Em muitos casos, os clientes são inicialmente atraídos pelo baixo preço do bingo e, posteriormente, realizam compras adicionais de outros produtos com maior margem de contribuição.

Dessa forma, o bingo atua como ferramenta comercial para abertura de novos mercados, fortalecimento do relacionamento com clientes e ampliação do mix vendido. Situações como essa demonstram que, embora os modelos matemáticos sejam ferramentas extremamente relevantes para o apoio à tomada de decisão, seus resultados devem ser analisados em conjunto com fatores estratégicos, comerciais e mercadológicos da empresa.

A Figura 4 apresenta a distribuição dos produtos em um plano cartesiano, considerando o custo unitário no eixo X e o lucro unitário no eixo Y, de modo a evidenciar a relação entre essas duas variáveis.

Figura 4 – Gráfico de dispersão estruturado por categoria do mix



Fonte: Elaborada a partir de banco de dados próprios fornecidos pela empresa Nig Brinquedos, Santa Rosa de Viterbo, SP. 2026

A distribuição espacial dos itens categorizados por cor no diagrama de dispersão expõe de forma cirúrgica o comportamento seletivo do Solver diante das restrições industriais. Os produtos identificados como Apenas Minimização (bolinhas verdes: 457, 602, 1059 e 2002) formam uma barreira rígida de baixo custo e baixo retorno na base inicial do gráfico. A presença exclusiva desses códigos no modelo de custos comprova que eles atuam estritamente como ferramentas de proteção financeira; são brinquedos de arquitetura fabril extremamente enxuta que o algoritmo ativa para fechar o mix demandado sem expor o capital de giro da empresa a riscos de mercado.

Por outro lado, o comportamento dos itens pertencentes à Intersecção (bolinhas amarelas e roxas) ilustra a elasticidade e a flexibilidade operacional da planta. Conectados

no gráfico por linhas tracejadas, esses 18 códigos mudam de quadrante conforme a meta corporativa se altera: quando sob a diretriz de custos, o sistema os posiciona em patamares conservadores (pontos amarelos); agora, ao migrar para a maximização, o algoritmo expande seus volumes de produção de forma agressiva (pontos roxos). Esse deslocamento vertical e horizontal comprova que a intersecção não é estática, mas sim uma zona de transição dinâmica capaz de absorver incrementos massivos de produção para maximizar a captação de margens líquidas.

Por fim, os códigos classificados como Apenas Maximização (bolinhas azuis: 680, 684, 1121 e 1133) consolidam-se no quadrante superior direito, evidenciando o perfil de alta performance comercial e forte absorção de recursos. Esses produtos são completamente descartados no modelo defensivo devido ao seu alto custo de fabricação acumulado, mas tornam-se indispensáveis no plano de expansão, onde suas expressivas margens unitárias justificam o alto desembolso em insumos e tempos de ciclo de injeção. Assim, a separação visual por cores e códigos dentro das esferas fornece à gerência de PCP um diagnóstico visual exato, separando o mix em três blocos estratégicos: os defensores de caixa, a base flexível e os geradores de riqueza.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo alcançou plenamente o seu objetivo geral, que consistia em aplicar modelos de programação linear e inteira para otimizar o planejamento e controle da produção (PCP) em uma indústria de brinquedos. A pesquisa foi efetivamente conduzida por meio de um estudo de caso estruturado, mapeando detalhadamente as restrições físicas de capacidade das máquinas fabris, a disponibilidade de mão de obra e as demandas máximas de mercado. Ao traduzir essas variáveis reais em equações matemáticas e executá-las através do programador Solver, o trabalho fundamentou cientificamente o processo de tomada de decisão da fábrica, permitindo encontrar o equilíbrio exato entre a engenharia de produção e as metas corporativas.

O objetivo foi atendido ao demonstrar quantitativamente o impacto de duas estratégias opostas de gestão. No modelo focado em custos, a condução dos testes matemáticos comprovou que a empresa consegue operar de forma defensiva e enxuta,

atingindo um custo total de R\$ 739.573,62 e mantendo um lucro de R\$ 511.987,71 através de um mix focado em produtos de menor custo de fabricação. Por outro lado, o modelo focado em lucros atendeu à meta de expansão financeira ao elevar o retorno líquido global para R\$ 787.205,52. O cruzamento desses dados provou que o ganho de margem exige um custo operacional maior (R\$ 1.424.164,18), evidenciando o trade-off industrial e validando o uso da Pesquisa Operacional como uma ferramenta de alta precisão.

Diante do exposto, conclui-se que o propósito do trabalho foi integralmente cumprido ao transformar dados matemáticos complexos em ferramentas visuais e estratégicas de fácil interpretação para a diretoria. A modelagem matemática desenvolvida não apenas resolveu o problema de alocação de recursos da planta, mas provou que a eficiência industrial e a lucratividade não são alcançadas ao acaso. O estudo consolida-se, portanto, como um caso prático de sucesso na integração entre a teoria acadêmica e a realidade fabril, garantindo a sustentabilidade, o controle de custos e a competitividade da organização no mercado.

Apesar dos resultados obtidos demonstrarem a aplicabilidade da programação linear como ferramenta de apoio à tomada de decisão na definição do mix de produção, este estudo apresenta algumas limitações. A pesquisa foi desenvolvida com base em dados internos de uma única empresa do setor de brinquedos, os quais foram previamente analisados e disponibilizados pelos gestores de produção, restringindo a generalização dos resultados para organizações com características produtivas distintas. Além disso, o modelo matemático foi elaborado considerando parâmetros determinísticos, como custos, demanda, tempos de produção e disponibilidade de recursos, desconsiderando possíveis variações decorrentes de oscilações do mercado, mudanças nos custos de insumos, sazonalidade da demanda ou imprevistos operacionais. Outra limitação refere-se ao fato de que o modelo contempla apenas as restrições consideradas mais relevantes para o processo produtivo da empresa, não incorporando fatores estratégicos e qualitativos que também influenciam a tomada de decisão, como posicionamento de mercado, lançamento de novos produtos, manutenção de portfólio e fortalecimento de marcas licenciadas.

Dessa forma, recomenda-se que pesquisas futuras ampliem o modelo com a inclusão de variáveis estocásticas, análises de sensibilidade e múltiplos objetivos, bem

como sua aplicação em empresas de diferentes segmentos, permitindo avaliar a robustez e a adaptabilidade da metodologia em contextos produtivos distintos.

REFERÊNCIAS

- ARENALES, M. N.; ARMENTANO, V.; YANASSE, H. H.; PERAÇA, P. **Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- CASTRO, L. Y.; BORGERT, A.; SOUZA, F. R. Definição do mix de produção em uma indústria de lácteos com uso da programação linear: um estudo de caso. **In: XXII Congresso Brasileiro de Custos**, Foz do Iguaçu, 2015.
- COLIN, E. C. **Pesquisa Operacional: 170 aplicações reais**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- CUNHA, C. B. Aspectos práticos da aplicação de modelos de programação matemática a problemas de localização de instalações e de logística. **Gestão & Produção**, v. 7, n. 2, p. 210-224, 2000.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa Operacional: guia de técnicas de tomada de decisão**. São Paulo: Saraiva, 2009.
- PAMPLONA, E. O.; BELLIS, A. F. A utilização da programação linear na determinação do mix de produção de uma empresa têxtil visando a maximização da margem de contribuição. **In: XI Congresso Brasileiro de Custos**, Porto Seguro, 2004.
- PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da Produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.
- TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TOLEDO, F. M. B.; ARMENTANO, V. A.; ALEGRE, I. T. A multi-plant production planning problem in the soft drink industry. **Computers & Operations Research**, v. 34, n. 11, p. 3466-3488, 2007.

WINSTON, W. L. Operations Research: applications and algorithms. 4. ed. Belmont: **Thomson Brooks/Cole**, 2004.