



MODELAGEM EM EXCEL PARA PLANEJAMENTO AGREGADO E TOMADA DE DECISÃO: UM ESTUDO DE CASO EM EMPRESA DE PANIFICAÇÃO

Matheus Borges Da Cunha

Escola de Administração de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas – FGV EAESP
Edifício John F. Kennedy - Av. Nove de Julho, 2029 - Bela Vista, São Paulo - SP, 01313-902
matheusborgsedacunha@outlook.com

Érica Souza Siqueira

Escola de Administração de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas – FGV EAESP
Edifício John F. Kennedy - Av. Nove de Julho, 2029 - Bela Vista, São Paulo - SP, 01313-902
erica.siqueira@fgv.br

RESUMO

Este estudo apresenta o desenvolvimento de um modelo de otimização baseado em programação linear, construído em Excel, para apoiar o planejamento agregado da produção e decisões estratégicas em uma empresa de panificação. Utilizando a abordagem Design Science Research, o modelo foi desenvolvido de forma iterativa, incorporando dados reais, feedback dos gestores e ajustes operacionais. A ferramenta considera famílias de produtos, variáveis de mão de obra, consumo de matéria-prima e simulações de cenários. Além disso, foi acoplada uma modelagem financeira para avaliar a substituição do forno a gás por fornos elétricos alimentados por energia solar, alinhando-se aos desafios contemporâneos de inovação sustentável. Os resultados apontam para ganhos em clareza, estruturação e potencial de replicação em empresas com baixa maturidade digital. O modelo proposto oferece uma solução acessível e ajustável para contextos empresariais que buscam combinar eficiência operacional com decisões baseadas em dados.

PALAVRAS CHAVE. Programação Linear, Planejamento Agregado, Tomada de Decisão em Pequenas e Médias Empresas

Paper Topics (AD&GP – PO na Administração e Gestão da Produção, POI - PO na Indústria)

ABSTRACT

This study presents the development of an optimization model based on linear programming, built in Excel, to support aggregate production planning and strategic decision-making in a bakery company. Using a Design Science Research approach, the model was developed iteratively, incorporating real company data, managerial feedback, and operational adjustments. The tool considers product families, labor variables, raw material consumption, and scenario simulations. Additionally, a financial model was integrated to evaluate the replacement of a gas oven with electric ovens powered by solar energy, aligning with current challenges of sustainable innovation. The results highlight benefits in decision clarity, process structuring, and potential replication in low-digital-maturity firms. The model offers an accessible and adaptable solution for business contexts seeking to combine operational efficiency with data-driven decision-making.

KEYWORDS. Linear Programming, Aggregate Production Planning, Decision-Making in Small and Medium-Sized Enterprises

Paper Topics (AD&GP – Operations Research in Administration and Production Management, POI – Operations Research in Industry)

1. Introdução

A indústria de alimentos e bebidas representa 10,7% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional e gera 2 milhões de empregos formais, sendo um dos principais setores da economia brasileira. O Brasil também é o maior exportador de alimentos do mundo, reforçando sua importância no cenário internacional [ABIA, 2023]. Ainda segundo a ABIA [2023], em 2022, havia 41 milhões de empresas atuando nesse setor, o que evidencia o grau de concorrência existente.

Diante desse cenário, Pinochet [2016] destaca a importância de um gerenciamento eficiente das cadeias produtivas, com integração de processos e informações capazes de beneficiar a área operacional. Além disso, por serem empresas sujeitas a fiscalização intensa e a regulamentações rigorosas, torna-se fundamental que desenvolvam formas de se manterem competitivas.

No campo da panificação, a incorporação de inovações computacionais tem tornado novas ferramentas mais aplicáveis, precisas e acessíveis ao longo do tempo. De acordo com Nascimento [2020], a inovação nesse contexto está menos relacionada ao volume de investimento em tecnologia e mais à capacidade da empresa de utilizar ferramentas eficazes frente à concorrência. Assim, uma ferramenta gerencial pode representar uma inovação valiosa por contribuir com o gerenciamento, a tomada de decisão e a análise de dados com base em métodos quantitativos.

Este estudo parte da seguinte pergunta de pesquisa: *como a construção de um modelo de otimização no Excel pode apoiar a tomada de decisão e o planejamento agregado da produção em uma empresa de panificação?*

Para responder a essa pergunta, o trabalho desenvolveu e aplicou um modelo de otimização em uma empresa real, a Pão Maná, localizada em Aparecida de Goiânia. A empresa produz pães voltados para hamburguerias e supermercados, contando atualmente com cerca de 80 funcionários e um faturamento mensal em torno de dois milhões de reais.

Com o crescimento da operação, a empresa passou a enfrentar dificuldades relacionadas à ausência de estoque de produtos acabados, à limitação de informações sobre a situação da produção e ao controle da matéria-prima. A maior parte dos recursos da empresa tem sido direcionada à operação, sem o mesmo nível de desenvolvimento das funções administrativas. Nesse contexto, as decisões estratégicas são dificultadas pela ausência de dados e de controle adequados.

Para contribuir com esse cenário, desenvolveu-se um modelo de apoio à decisão com base em programação linear, utilizando o Excel como ferramenta principal. A escolha pelo Excel se justifica pela facilidade de implementação, pela possibilidade de uso direto pela equipe de gestão e pela adequação à realidade de uma empresa de estrutura familiar.

A metodologia adotada foi a Design Science Research (DSR), voltada à criação de artefatos aplicáveis à resolução de problemas concretos. O modelo passou por aprimoramentos sucessivos, incluindo dados operacionais da empresa, parâmetros ajustáveis e simulações com diferentes cenários. Além disso, foi elaborada uma análise financeira sobre a viabilidade de substituição do forno a gás por fornos elétricos alimentados por usina solar, ampliando o escopo da ferramenta para decisões de natureza estratégica.

2. Referencial teórico

Este trabalho adota a abordagem da Pesquisa Operacional (PO), com foco na aplicação da programação linear como ferramenta de apoio à decisão. O objetivo é construir um modelo capaz de representar o processo de produção de uma empresa real, com apoio no Excel como ambiente de modelagem e no Solver como ferramenta de otimização. Essa escolha metodológica se alinha ao propósito de viabilizar o uso do modelo por gestores sem formação matemática avançada, mas com familiaridade com planilhas eletrônicas.

Pesquisa Operacional

A Pesquisa Operacional é uma metodologia voltada à construção de modelos formais que representem situações reais de decisão. De acordo com Pinto [2008], a PO parte da definição clara do problema, o que permite identificar as variáveis de decisão, a função objetivo e as restrições

envolvidas. A etapa seguinte é a formulação do modelo, seguida da análise de sensibilidade e da validação da solução proposta. Fávero [2012] destaca que a PO depende da disponibilidade de dados confiáveis, pois é por meio da análise quantitativa desses dados que se obtêm recomendações úteis à tomada de decisão.

Para Paixão [2025], a PO se justifica pela capacidade de testar e avaliar soluções antes da implementação, por meio de modelos matemáticos que reproduzem o comportamento do sistema real. Isso permite simular cenários, identificar limites operacionais e propor ajustes no processo decisório. Além disso, o avanço tecnológico ampliou a acessibilidade das ferramentas de PO, tornando possível a interação direta do usuário com os modelos e suas simulações.

Programação Linear

A programação linear é uma das técnicas mais consolidadas da PO. Ela permite representar matematicamente problemas em que se deseja otimizar uma função linear sujeita a restrições também lineares. Segundo Paixão [2025], a formulação do problema requer a definição da função objetivo, das variáveis de decisão e das restrições operacionais, respeitando a hipótese de linearidade entre os elementos envolvidos.

Bento [2022] ressalta que a programação linear tem ampla aplicação na indústria, com destaque para problemas de produção, alocação de recursos, definição de mix de produtos e planejamento de estoques. [Flores-Tapia 2022] complementa que, após a formulação do modelo, é possível realizar simulações a partir da modificação de parâmetros, o que amplia sua utilidade na gestão de operações.

A resolução dos problemas de programação linear é feita com base no método Simplex, desenvolvido por George Dantzig em 1947. Trata-se de um procedimento iterativo que explora os vértices da região viável até encontrar a solução ótima. Paixão [2025] observa que o Simplex é eficaz mesmo em problemas com múltiplas variáveis e que sua aplicação é viável com ferramentas computacionais amplamente disponíveis.

Entre essas ferramentas, destaca-se o suplemento Solver, presente no Excel. Silva Filho et al. [2009] demonstram que o uso do Excel como plataforma de modelagem facilita a construção de interfaces interativas e a compreensão dos resultados por parte dos gestores. Essa abordagem é particularmente útil em pequenas empresas, onde o uso de softwares especializados pode ser inviável. Os autores justificam o uso da planilha como meio de democratizar o acesso à PO, aproveitando o fato de que muitas organizações já utilizam o Excel como ferramenta de apoio à gestão.

Planejamento Agregado

O planejamento agregado da produção (PAP) atua em nível tático e tem como objetivo alinhar os recursos produtivos com as demandas previstas ao longo de um horizonte de médio prazo. Segundo Monks [2015], trata-se de um estágio intermediário entre o planejamento de longo prazo, que define a capacidade instalada, e o planejamento de curto prazo, que lida com ordens específicas de produção. A principal função do PAP é determinar, de forma agregada, o volume de produção necessário para atender à demanda projetada, levando em conta restrições de capacidade, mão de obra, estoques e custos.

Silva Filho et al. [2009] destacam que esse tipo de planejamento serve como elo entre o planejamento estratégico e o operacional, permitindo decisões integradas que consideram os recursos disponíveis, as metas de vendas e os objetivos financeiros da organização. Para isso, o PAP costuma utilizar famílias de produtos ou unidades equivalentes, o que facilita o controle agregado sem a necessidade de detalhar individualmente cada item da produção.

Gassen et al. [2019] reforçam que o planejamento agregado tem papel decisivo na gestão da produção, permitindo avaliar diferentes cenários e apoiar decisões sobre mix de produtos, níveis de estoque e utilização da capacidade instalada. Os autores demonstram que o uso de modelos matemáticos, como a programação linear, permite otimizar esse tipo de decisão, respeitando as restrições do sistema e maximizando indicadores como margem de contribuição ou nível de serviço.

A modelagem matemática do PAP pode considerar variáveis como horas regulares e extras de produção, estoques intermediários, custos de manutenção e margens unitárias. A solução do modelo oferece aos gestores uma visão estruturada da ocupação de recursos ao longo do tempo, facilitando decisões sobre contratação de pessoal, uso de horas extras ou antecipação de produção. Além disso, segundo Silva Filho et al. [2009], a implementação em planilhas eletrônicas amplia o acesso à técnica, permitindo que mesmo empresas com estrutura gerencial enxuta possam aplicar o modelo.

Como apontado por Gassen et al. [2019], o uso da programação linear em problemas de planejamento agregado pode contribuir para uma melhora o desempenho produtivo, assim como, pode também gerar uma base de dados quantitativa que pode ser utilizada pelos gestores para comunicar resultados e justificar decisões junto à alta gestão.

3. Metodologia

Este estudo adota a abordagem de Design Science Research (DSR), que se baseia na construção de artefatos para resolver problemas práticos e, ao mesmo tempo, gerar conhecimento aplicável [Vom Brocke et al., 2020]. A DSR é apropriada para situações em que há um problema real a ser enfrentado, especialmente em contextos organizacionais, e o pesquisador se propõe a desenvolver, testar e refinar uma solução com potencial de aplicação prática.

No contexto deste estudo, o artefato é um modelo de programação linear desenvolvido no Excel, com o objetivo de apoiar o planejamento agregado da produção em uma empresa de panificação, a empresa Pão Maná. A aplicação da DSR permite conduzir o processo de desenvolvimento do modelo de forma iterativa, com ciclos de construção e avaliação baseados nas necessidades da empresa e no retorno dos seus gestores. O processo metodológico foi estruturado em três ciclos principais, que serão detalhados a seguir.

Ciclo 1 – Levantamento de dados e entendimento do problema

O ponto de partida foi a realização de entrevistas com membros-chave da equipe da empresa Pão Maná, com o objetivo de compreender os processos atuais, as decisões operacionais mais frequentes e os principais desafios enfrentados. As entrevistas foram gravadas, transcritas e analisadas com base na identificação de elementos que poderiam ser traduzidos em variáveis, restrições e objetivos do modelo. A Tabela 1, a seguir, apresenta os entrevistados, funções e formas de registro.

Tabela 1 – Entrevistas realizadas

Entrevistado	Função atual e tempo de experiência na empresa	Data da entrevista e duração	Tipo e Forma de Registro
Fundador da Pão Maná	Chefe de Pesquisa e foi Gerente de produção por 20 anos	14/01/2025, ~1h	Presencial, áudio gravada e transcrita
Co-Fundador	Aposentada, foi CEO por 24 anos da empresa e experiência de 10 anos na administração empresas	16/01/2025, ~1h	Presencial, áudio gravado e transcrita
Engenheira de Alimentos	CEO com 22 anos de experiência na administração da empresa	18/01/2025, ~1h	Online, gravada e transcrita
Vendedor	Gerente de Venda à 9 anos e foi Gerente de Produção por 10 anos	19/01/2025, ~1h	Online, gravada e transcrita

Fonte: Elaboração própria

Ciclo 2 – Construção e validação do primeiro modelo

Com base nos dados obtidos, foi elaborado um primeiro modelo de programação linear com foco na minimização dos custos de produção. O modelo foi construído em Excel, utilizando o suplemento Solver. Nessa fase, foram representadas variáveis relacionadas à produção por turno, disponibilidade de horas extras, contratação e demissão de trabalhadores e demanda projetada. O modelo foi apresentado em reunião com a equipe, e os feedbacks foram incorporados para aprimoramento.

Ciclo 3 – Desenvolvimento do modelo final e avaliação preliminar

A partir da primeira rodada de validação, o modelo foi refinado para incluir novas variáveis, como o controle de estoque de matéria-prima e a representação da produção em “batidas”, que é a unidade usada internamente pela empresa. Além disso, foi incorporado um módulo de análise financeira voltado à simulação da substituição de fornos a gás por fornos elétricos alimentados por energia solar. O modelo final está implementado em Excel, com interface amigável para uso interno, mas ainda requer validação em outros contextos organizacionais para ampliar sua generalização.

O uso da abordagem DSR possibilitou o desenvolvimento iterativo do artefato, sempre ancorado nas necessidades reais da organização e com avaliações parciais ao longo do processo. Segundo Vom Brocke et al. [2020], essa alternância entre construção e avaliação contribui para garantir a relevância prática e a aderência da solução ao ambiente em que será aplicada. A seguir descrevemos o caso da Pão Maná e o modelo desenvolvimento.

4. Caso

A Pão Maná, situada em Aparecida de Goiânia (GO), é uma empresa de produtos alimentícios focada na fabricação e venda de pães, entre eles pães para hamburguerias e supermercados. Fundada em 1989, a empresa possui atualmente um faturamento em torno de 2 milhões de reais por mês, sob a gestão de da filha dos fundadores.

A história dessa organização começou com uma pequena padaria, tendo como principal produto o pão francês, que, na época, tinha seu preço congelado pelo governo. Com seu rápido crescimento, atingiu a marca de 20.000 pães vendidos por semana. Posteriormente, expandiu sua operação para a produção de pães de forma, destinados à comercialização em supermercados e armazéns. Todavia, a entrada de grandes empresas no setor de panificação de pães de forma fez com que a Pão Maná e outras empresas abandonassem esse mercado devido à competitividade dos preços e à falta de economia de escala. Diante disso, a empresa migrou para o mercado de pães para sanduicherias, ganhando notoriedade nesse segmento e ampliando sua estrutura e porte.

Porém, por volta de 2012, a empresa enfrentava prejuízos constantes e dificuldades para pagar seus fornecedores, tornando-se necessária uma mudança. Nessa perspectiva, a organização passou por uma transformação interna, contando com o apoio de uma consultoria administrativa e a troca da gestão. Além disso, aumentou o preço dos produtos e introduziu o pão brioche, obtendo sucesso com essas mudanças.

Atualmente, a empresa conta com cerca de 80 funcionários, produzindo aproximadamente 200 mil pães por mês e atendendo todo o estado de Goiás e regiões próximas. Entretanto, ainda apresenta muitos traços de uma empresa familiar, estando apenas na segunda geração da família. Além disso, devido ao rápido crescimento na última década, sua organização interna não conseguiu se desenvolver no mesmo ritmo acelerado que sua parte operacional.

Nesse contexto, a Pão Maná enfrenta alguns desafios, entre eles, a falta de estoque de produtos acabados, em razão da alta demanda e das dificuldades de produção para atendê-la. Por esse motivo, a maior parte dos recursos dos últimos anos foi alocada exclusivamente na parte operacional. Por outro lado, sua administração interna apresenta deficiências no controle de matéria-prima, no monitoramento da situação dos produtos em produção e na previsão de demanda, entre outros aspectos. Assim, a tomada de decisões estratégicas torna-se um desafio para a gestão atual, que não dispõe de dados nem de controle suficiente para embasar suas decisões sobre o futuro da empresa. Dessa forma, esse cenário representa grande oportunidade para o desenvolvimento de modelo, baseado em programação linear, que ajuste a administração a lidar com esse desafio.

5. Desenvolvimento do Modelo – A versão inicial e final

Esta seção apresenta o modelo de otimização desenvolvido com o objetivo de apoiar o planejamento agregado da produção na empresa Pão Maná. A proposta parte da estruturação de um modelo baseado em programação linear, com implementação em planilha Excel, considerando as restrições operacionais da empresa e suas principais necessidades de gestão. Optou-se por representar a produção a partir de famílias de produtos, dada a grande variedade de pães

comercializados e a relativa homogeneidade de processos dentro de cada grupo. Embora o planejamento agregado seja tradicionalmente associado a um horizonte de médio prazo de meses, no contexto da panificação estudada, esse horizonte foi representado em semanas, uma vez que as decisões produtivas, de alocação de mão de obra e aquisição de matéria-prima são tomadas semanalmente.

5.1 Modelo Inicial

O modelo inicial foi desenvolvido com o objetivo de testar os conceitos fundamentais da programação linear aplicados à realidade da Pão Maná, utilizando um recorte simplificado da produção. Foram consideradas três famílias de produtos: Pão de Hambúrguer 350g, Komiketo e Brioche, que, juntas, correspondem a aproximadamente 70% do faturamento da empresa. Cada família de produto reúne diferentes variações em tamanho e ingredientes, mas para fins de modelagem, foram tratadas como unidades equivalentes, com base em sua representatividade média no consumo de insumos e tempo de produção.

O modelo foi estruturado para um período de quatro semanas, denominadas T1, T2, T3 e T4. Embora curtos, esses períodos refletem o ciclo real de planejamento da empresa, o que justifica sua adoção como representação de médio prazo no contexto da panificação.

A formulação do modelo incluiu as seguintes variáveis de decisão (incógnitas do modelo, presentes na figura 1 e 2 abaixo): Quantidade de produção de cada família de produto por semana (figura 1); Número de contratações e demissões de funcionários por semana (figura 2, em azul); e Quantidade de horas extras realizadas (figura 2, em azul). Já as restrições (em laranja no modelo, figura 1) consideradas foram: Atendimento da demanda prevista para cada produto em cada semana; Limite máximo de horas extras permitidas por funcionário e; Capacidade de trabalho regular dos funcionários disponíveis.

Cálculo do custo de matéria prima por unidade produzida

Matéria Prima (Resumo)	Quantidade Produzida	\$Matéria Prima/ Unidade		
HAMB. 350g	1.020	R\$ 0,43		
KOMIKETO	1.190	R\$ 0,42		
BRIOCHE	570	R\$ 0,48		
Demanda	T1	T2	T3	T4
HAMB. 350g	10.000	11.000	12.000	13.000
KOMIKETO	35.000	36.000	37.000	38.000
BRIOCHE	40.000	41.000	42.000	43.000
Produção	T1	T2	T3	T4
HAMB. 350g	10.000	11.000	12.000	13.000
KOMIKETO	35.000	36.000	37.000	38.000
BRIOCHE	40.000	41.000	42.000	43.000

Cálculo do custo de matéria prima por unidade produzida

Figura 1 – Modelo Inicial – Produção e Restrição de Demanda

DECISÃO CONTRATUAL	DECISÕES	CUSTO UNITÁRIO	T0	T1	T2	T3	T4	TOTAL
CONTRATAÇÕES	R\$	500,00		0	7	0	3	R\$ 5.000,00
DEMISSÕES	R\$	1.518,00		5	0	0	0	R\$ 7.590,00
Encargos Trabalhistas	R\$	2.480,41	50	45	52	52	55	R\$ 506.004,05
HORAS EXTRA	DECISÕES	CUSTO UNITÁRIO	T0	T1	T2	T3	T4	Custo Hora extra
quantidade hora extra	R\$	30,00		200	0	600	300	R\$ 33.000,00
horas extras disponíveis		20		900	1040	1040	1100	
HORAS DISPONÍVEIS	DECISÕES	VALOR UNITÁRIO	T0	T1	T2	T3	T4	
horas necessárias/ produto		0,03		2.550	2.640	2.730	2.820	
horas regulares/ funcionari		44		1980	2288	2288	2420	
horas disponíveis totais				2180	2288	2888	2720	
CUSTOS	DECISÕES	VALOR UNITÁRIO	T0	T1	T2	T3	T4	
Custos de Matéria HAMB.	R\$	19.809,71						
Custos de Matéria Komiketo	R\$	61.606,95						
Custos de Matéria Brioche	R\$	79.475,47						
Custos de Mão de Obra	R\$	551.594,05						
Custos Totais	R\$	712.486,18						

Figura 2 – Decisão de Contratação e Horas Extra e função objetivo

A função objetivo do modelo, figura 2 (em verde) foi definida como a minimização do custo total, composto pelos custos de matéria-prima e de mão de obra. A modelagem foi realizada

diretamente em Excel, utilizando o suplemento Solver para encontrar a solução ótima, com base em equações lineares de primeiro grau. Os dados inseridos no modelo nesta etapa foram, em sua maioria, ilustrativos, com o propósito de demonstrar a lógica de funcionamento da ferramenta e verificar sua coerência estrutural.

A fim de auxiliar no entendimento nas fórmulas e funcionamento do modelo, a Tabela 2 contém as explicações das variáveis que serão exploradas posteriormente. Para questão de simplificação, o número na variável indica o período relacionado a ela, podendo ir de 1 a 4.

Tabela 2 – Descrição das variáveis

Variável	Descrição da variável
Ph1	Produção do produto Hamburger 350g no período 1
Pk1	Produção do produto Komiketo no período 1
Pb1	Produção do produto Brioche no período 1
F1	Número de funcionários no período 1
C1	Número de contratações no período 1
D1	Número de demissões no período 1
H1	Horas extras realizadas pelos funcionários no período 1
EX1	Quantidade de Horas extras disponíveis no período 1

Fonte: Elaboração própria

A princípio, respeita-se a restrição de que a Produção seja maior ou igual à Demanda, para que a produção possa suprir integralmente a quantidade demandada, de acordo com a Equação 1.

Produção $\geq$ Demanda (Equação 1)

Assim, na Equação 2, é exemplificado a relação da variável de produção do Hamburger 350g com o parâmetro Demanda, representado por “deh1”. Para cada produto em cada período há uma demanda específica.

Ph1 $\geq$ deh1 (Equação 2)

Devido às decisões contratuais envolvendo as variáveis de contratações e demissões, obtém-se o número de funcionários em cada período, conforme demonstrado pela Equação 3.

Nº de Funcionários = Nº de Funcionarios do periodo anterior + Contratações – Demissões
(Equação 3)

A equação 4 exemplifica o cálculo da quantidade de funcionários no contexto no período 1, tendo em vista o número de funcionários no período 0, juntamente do número de contratações e demissões no período 1

F1 = F0 + C1 – D1 (Equação 4)

A seguir, são calculadas as horas extras que poderão ser feitas pelos funcionários do período, conforme Equação 5.

*Hora Extra disponíveis = Horas extras permitida * Nº de Funcionários* (Equação 5)

A equação 6 calcula a variável Horas Extras disponíveis no período 1, com a presença do parâmetro HEP, sendo o volume de hora extras permitidas ao funcionário realizar, o qual é constante no modelo.

*EX1 = HEP * F1* (Equação 6)

Contudo, deve ser respeitada a restrição, representada pela Equação 7, segundo a qual a quantidade de horas extras sugerida pelo modelo deve ser menor ou igual à quantidade de horas extras disponíveis, obedecendo ao limite permitido pela legislação, conforme identificado na equação 5.

Quantidade de Hora Extra realizada $\leq$ Horas Extra Disponiveis (Equação 7)

A equação 8, exemplifica a situação do período 1:

H1 $\leq$ EX1 (Equação 8)

Obtém-se, assim, o custo com hora extra, conforme Equação 9

*Custo Total da Hora Extra = Soma da Quantidade de Hora extra realizada * Valor da Hora Extra* (Equação 9)

Como resultado dessa fórmula, temos a relação, representada pela Equação 10, que calcula o Custo Total com a realização de horas extras, representado por “CHET”, com o parâmetro “V/HE”, que é o valor pago pela empresa por cada hora extra realizada.

$$CHET = (H1 + H2 + H3 + H4) * V/HE \quad (\text{Equação 10})$$

No que se refere à quantidade de horas necessárias para produzir integralmente a quantidade desejada, o cálculo é realizado com base na proporção “horas necessárias para produzir cada unidade do produto”. Essa proporção é obtida a partir de dados históricos, por meio da fórmula apresentada na Equação 11.

$$\text{Horas Necessárias por produto} = \frac{\text{Nº de Funcionários} * \text{Quantidade de horas realizadas na média}}{\text{Quantidade de pães produzidos}} \quad (\text{Equação 11})$$

Desse modo, essa proporção foi calculada com base em dados históricos, sendo um parâmetro constante nos períodos, mas no intuito de exemplificar, a Equação 12 traz as Horas necessárias para se produzir uma unidade de produto no período 1, HN1/p.

$$HN1/p = \frac{F1 * H1}{Ph1 + Pk1 + Pb1} \quad (\text{Equação 12})$$

As horas necessárias para produzir a quantidade total de produtos está na Equação 13.

$$\text{Horas necessárias para Produção Total} = \text{Horas para produzir um Produto} * \text{Quantidade Produzida} \quad (\text{Equação 13})$$

Desse modo, a Equação 14 exemplifica as Horas necessárias para produzir a quantidade total dos produtos no período 1, representado por HPT1, usando também a proporção encontrada na equação 11.

$$HPT1 = HN/p * (Ph1 + Pk1 + Pb1) \quad (\text{Equação 14})$$

Já as horas de trabalho em sua totalidade são encontradas pela equação 15.

$$\begin{aligned} \text{Horas Disponíveis Totais} &= (\text{Horas regulares por funcionário} + \text{Hora extra por funcionário}) \\ &* \text{Nº de funcionários} \end{aligned} \quad (\text{Equação 15})$$

A Equação 16 exemplifica o cálculo da quantidade de horas disponíveis pelos funcionários em sua totalidade no primeiro período, representado por HT1, para isso usa-se os parâmetros Hr, sendo o número de horas que um funcionário realiza regularmente em um período, e HEr, que é o máximo de horas extras que um funcionário pode realizar em um período.

$$HT1 = (Hr + HEr) * F1 \quad (\text{Equação 16})$$

Assim encontrado o limite de horas de trabalho do sistema, que deve ser maior ou igual ao número de horas trabalhadas total pelos funcionários em cada período, como na Equação 17.

$$\text{Horas trabalhadas Totais} \leq \text{Horas Disponíveis Totais} \quad (\text{Equação 17})$$

Com isso, a Equação 18 exemplifica mostra essa limitação no período 1.

$$Hr * F1 + H1 \leq HT1 \quad (\text{Equação 18})$$

No aspecto dos custos, seguindo a equação apresentada a seguir na Equação 19, para cada tipo de pão, o valor necessário de matéria-prima para produzir uma unidade é definido de forma específica para cada tipo. Esse valor é então multiplicado pela quantidade produzida do respectivo produto. Dessa forma, obtém-se o custo de matéria-prima por produto e, em seguida, somam-se todos esses custos para chegar ao custo total de matéria-prima.

$$\text{Custo de Matéria Prima} = \$\text{Matéria Prima/Unidade} * \text{Quantidade Produzida} \quad (\text{Equação 19})$$

Na equação 20, mostra-se o CMT1, Custo da matéria prima Total no período 1, tendo a proporção do valor gasto para se produzir uma unidade do produto Brioche é representado por MPb, tendo os outros parâmetros semelhantes sendo referidos aos outros produtos.

$$CMT1 = Ph1 * MPb + Pk1 * MPk + Pb1 * MPb \quad (\text{Equação 20})$$

Por conseguinte, calcula-se o custo de mão de obra, obtido pela soma dos custos de contratação, demissão, encargos trabalhistas e horas extras, conforme demonstrado na equação 21.

Custo de Mão de Obra = N° de Contratações * Custo por Contratação + N° de Demissões *
Custo por Demissão + N° de funcionários no período * Encargos trabalhista por funcionário +
CustoTotal da Hora Extra (Equação 21)

Nessa perspectiva, temos a Equação 22, a qual calcula CMO, o custo de mão de obra Total, tendo os parâmetros Cc, custo por contratação, Cd custo por demissão e Cf, custo com encargos trabalhistas regulares por funcionário, além do CHet visto na equação 10.

$$CMO = (C1 + C2 + C3 + C4) * Cc + (D1 + D2 + D3 + D4) * Cd + (F1 + F2 + F3 + F4) * Cf + CHet$$

(Equação 22)

Por fim, o objetivo do modelo é minimizar o custo total, obtido pela soma do custo total de matéria prima com o custo de mão de obra, se obtendo, dessa maneira, a totalidade dos custos pertinentes ao contexto do modelo, de acordo com a Equação 23.

$$Custo\ Total = Custo\ da\ Matéria\ Prima\ Total + Custo\ de\ Mão\ de\ Obra \quad (Equação\ 23)$$

Com isso, a Equação 24 representa de maneira algébrica o Custo Total, representado por CT, logo obtendo a fórmula da célula objetiva do modelo.

$$CT = CMT1 + CMT2 + CMT3 + CMT4 + CMO \quad (Equação\ 24)$$

5.2 Modelo Final

Após a construção e apresentação do modelo inicial, uma nova versão foi desenvolvida com o objetivo de incorporar elementos operacionais adicionais e tornar a ferramenta mais condizente com a realidade da empresa. Essa evolução resultou em um modelo mais completo, mas que preserva a estrutura de programação linear, o uso do Excel e o foco na minimização dos custos operacionais. A seguir são descritas as melhorias incrementais realizadas na segunda versão.

Integração de novos controles operacionais

A primeira modificação relevante consistiu na introdução de um controle de estoque de matérias-primas. A ausência desse controle havia sido identificada como um dos principais gargalos da empresa, dificultando a gestão da produção. Para aprimorar esse aspecto, o novo modelo incorporou conceitos de logística, como o cálculo de estoque de segurança e a revisão periódica, possibilitando à gestão analisar com mais clareza as necessidades de compra e os custos associados ao estoque.

Adaptação à lógica fabril do setor de panificação

Outra melhoria importante foi a substituição da unidade de medida de produção. No modelo inicial, o volume produzido era representado em unidades de pães, o que se mostrou inadequado para a realidade da fábrica. No modelo final, adotou-se a unidade chamada “batida”, que representa a proporção de receita em relação a um saco de farinha. Essa unidade é amplamente utilizada no setor de panificação e reflete melhor o processo produtivo, ao permitir relacionar diretamente a produção à quantidade de matéria-prima utilizada.

Aprimoramento da interface e flexibilidade gerencial

Para facilitar o uso do modelo por parte da gestão, foi desenvolvido um painel no Excel com organização visual dos parâmetros, variáveis e resultados. Esse painel permite o ajuste de parâmetros internos e externos, sem a necessidade de alterar a estrutura da planilha. Entre os parâmetros definidos como ajustáveis estão:

- Quantidade de pães por pacote, para cada um dos três produtos analisados;
- Taxa média de perda de produtos no processo;
- Demanda semanal estimada dos produtos;
- Quantidade de horas necessárias para produção de cada item;
- Jornada regular de trabalho por funcionário;
- Valor da hora extra;
- Quantidade máxima de horas extras por funcionário;
- Custo de contratação e demissão de funcionários;
- Encargos trabalhistas por funcionário.

O modelo também foi expandido para calcular automaticamente, com base na produção, a necessidade de compra de cada tipo de matéria-prima, considerando o consumo por batida e as projeções de demanda. Isso se mostrou especialmente relevante, dada a grande variedade de insumos utilizados pela empresa e a dificuldade recorrente no controle desse processo.

A função objetivo permaneceu a minimização do custo total com produção, considerando os custos com matéria-prima e mão de obra. As variáveis, definidas e resolvidas pelo Solver, passaram a incluir: Quantidade de batidas por produto em cada período; Número de contratações e demissões por período e Quantidade de horas extras realizadas por período.

Adicionalmente, foi desenvolvida uma modelagem financeira, referente à análise de investimento para a empresa Pão Maná, a qual consiste na substituição do seu forno a gás de alvenaria, atualmente responsável por grande parte da produção, por uma alternativa de um forno elétrico, juntamente com a implantação de uma usina solar para alimentá-los. Tal decisão representa, no momento, uma incógnita para a atual gestão da empresa. A seção seguinte descreve essa adição ao modelo.

5.3 Modelagem financeira

Além do modelo de planejamento da produção, foi desenvolvida uma modelagem financeira com o objetivo de apoiar uma decisão estratégica, que no momento do desenvolvimento desse trabalho, se mostrou relevante: a substituição do forno a gás de alvenaria por fornos elétricos, em conjunto com a implantação de uma usina solar. Ao propor uma solução que combina redução de custos com o uso de fontes de energia renovável, entende-se que é possível pode contribuir para práticas produtivas mais responsáveis do ponto de vista ambiental, mesmo em organizações de pequeno porte. Dessa forma, a modelagem financeira buscou estruturar os dados disponíveis em um fluxo de caixa projetado, com o intuito de mensurar a viabilidade econômica dessa decisão ao longo de um horizonte de 36 meses.

A Tabela 2 apresenta os principais parâmetros utilizados no modelo. Esses dados foram fornecidos pela gestão da empresa e representam valores reais e atuais no momento da análise. Entre os principais itens considerados estão: o valor mensal gasto com gás, o custo de aquisição dos fornos elétricos e da usina solar, a taxa de juros utilizada para cálculo do valor presente líquido (VPL) e os custos de manutenção associados aos novos equipamentos.

Tabela 2 – Parâmetros da Modelagem Financeira

Parâmetro	Unidade de Medida
Taxa de Juros Mensal	1,15%
Valor do Gás/mês	R\$28.000
Valor Forno elétrico	R\$450.000
Vida Útil Forno	240 meses
Valor Usina Solar	R\$60.000
Manutenção de Forno elétrico anual	R\$4.0000

Fonte: Elaboração própria

O fluxo de caixa foi construído considerando dois grupos de valores, as contas redutoras e as contas aditivas, conforme descritas a seguir. As contas redutoras incluem o investimento nos fornos elétricos e na usina solar, ambos parcelados em dez vezes sem juros, com base em condições obtidas em feiras do setor. Foram também incorporados os custos de instalação e desinstalação, a depreciação dos equipamentos e os custos anuais de manutenção. Já as contas aditivas representam a economia mensal obtida com a eliminação do gasto com gás, considerando que o forno a gás atual não possui valor de revenda significativo. O único item com valor residual, os canos de cobre, foi desconsiderado por ter impacto financeiro irrelevante.

Com base nesses dados, o fluxo de caixa apresentou saldo negativo nos dez primeiros meses, período correspondente ao pagamento dos investimentos. A partir do 11º mês, observou-se geração de fluxos positivos, resultado da economia acumulada com o novo sistema. Ao projetar esse fluxo por 36 meses e aplicar uma taxa de juros anual de 14,75%, foi calculado um Valor

Presente Líquido (VPL) de aproximadamente R\$ 266 mil, o que indica viabilidade econômica positiva da substituição. O modelo também permite simular diferentes configurações, como alterações na taxa de juros, nos valores de investimento ou no custo da energia, possibilitando análises de sensibilidade e avaliações comparativas.

Para além de sua utilidade como instrumento de apoio à decisão de investimento, o modelo financeiro também pode ser integrado ao modelo de planejamento da produção. Em versões futuras, parâmetros como o número de fornos disponíveis, a capacidade de produção por forno e a eficiência energética de cada tecnologia poderão ser utilizados como restrições operacionais e parâmetros de entrada na modelagem de otimização. Essa integração ampliaria a coerência entre decisões estratégicas e operacionais, fortalecendo o uso do modelo como ferramenta de gestão integrada.

6. Conclusão

Este estudo teve como objetivo demonstrar como a construção de um modelo de otimização baseado em programação linear, desenvolvido em Excel, pode servir como ferramenta de apoio à tomada de decisão e ao planejamento agregado da produção em empresas com baixa maturidade digital. A proposta buscou verificar se uma modelagem acessível, fundamentada em conceitos da Pesquisa Operacional, poderia contribuir para a estruturação de decisões que, na prática, são realizadas com base em experiência e intuição.

O caso analisado foi o da Pão Maná, uma empresa de panificação localizada em Aparecida de Goiânia (GO). A empresa enfrenta desafios típicos de organizações em crescimento, como dificuldades no controle de estoques, planejamento de produção reativo e decisões pouco estruturadas sobre alocação de mão de obra. A construção do modelo permitiu representar esses elementos de forma formalizada, incorporando restrições operacionais e parâmetros ajustáveis. O modelo foi desenvolvido em ciclos, com base na abordagem de Design Science Research (DSR), e implementado em Excel, com resolução via Solver.

Embora o modelo ainda não tenha sido testado de forma sistemática na rotina da empresa, sua construção representa um primeiro passo para o desenvolvimento de soluções aplicáveis, replicáveis e ajustáveis a outras realidades. A validação inicial com os gestores da Pão Maná demonstrou receptividade à proposta, ainda que com ressalvas quanto à sua usabilidade e representatividade. As próximas etapas do trabalho incluem a aplicação prática do modelo na empresa e, posteriormente, sua adaptação e teste em outras panificadoras que operem com estrutura semelhante.

A escolha do Excel como ambiente de modelagem foi estratégica. Trata-se de uma ferramenta amplamente conhecida no ambiente empresarial, o que favorece a compreensão dos resultados, a comunicação entre setores e a atualização dos dados pela própria equipe interna. Ao contrário de soluções baseadas em linguagens de programação ou softwares proprietários, o Excel permite que o modelo seja manipulado diretamente por gestores com pouca familiaridade com modelagem matemática, desde que os parâmetros estejam bem definidos.

Entre os benefícios observados estão: a possibilidade de estimar custos com maior precisão, o planejamento mais estruturado da produção e a possibilidade de simulação de diferentes cenários com base em dados reais. Por outro lado, o modelo ainda apresenta desafios, como a introdução da restrição de números inteiros. Além disso, há limitações quanto à representação de aspectos qualitativos do processo produtivo, como a disponibilidade real de funcionários ou as decisões baseadas em julgamento contextual.

Em síntese, este trabalho reforça o potencial da Pesquisa Operacional como ferramenta prática, mesmo em ambientes organizacionais com baixa sofisticação tecnológica. Ao propor um modelo adaptado à realidade da panificação, contribui-se para o debate sobre como decisões operacionais podem ser apoiadas por instrumentos acessíveis, flexíveis e conectados às necessidades específicas de pequenas e médias empresas.



Referências

- ABIA – Associação Brasileira da Indústria de Alimentos. (2023). *Associação Brasileira da Indústria de Alimentos*.
- Bento, D. H. da S., & Caracini, L. G. (2022). Programação linear. *Revista Interface Tecnológica*, 19(2), 55–66.
- Cardoso, A. F., Santos, C. C. dos, Toledo, J. R., & De Souza, V. (2005). A programação linear como um método quantitativo no controle e apoio à tomada de decisão na gestão de custos.
- Flores-Tapia, C. E., & Flores-Cevallos, K. L. (2022). Método simplex de programación lineal aplicado a una empresa distribuidora de mobiliario. *Entorno*.
- Franco, L. A., & Montibeller, G. (2019). Facilitated modelling in operational research.
- Gassen, G., Graciolli, O. D., Chiwiacowsky, L. D., & Mesquita, A. (2019). Proposta de um modelo de programação linear para otimização do planejamento agregado de produção de brocas para empresa multinacional. *Revista Produção Online*, 19(1), 21–43.
- Lacerda, D. P., Dresch, A., Proença, A., & Antunes Júnior, J. A. V. (2013). Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. *Gestão & Produção*, 20(4), 741–761.
- Rodrigues, L.H. et al. (2014). *Pesquisa operacional: Programação linear passo a passo: Do entendimento do problema à interpretação da solução*. São Leopoldo: Unisinos.
- March, S. T., & Smith, G. F. (1995). Design and natural science research in Information Technology. *Decision Support Systems*, 15, 251–266.
- Monks, T. (2015). Operational research as implementation science: definitions, challenges and research priorities. *Implementation Science*, 11, 1-10.
- Nascimento, R. do. (2023). *Tecnologia da panificação: Aplicação do conhecimento em sistemas de software* [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Alagoas].
- Paixão, J. L. (2025). *Programação linear e o método simplex: Fundamentos e aplicações*. Atena Editora.
- Pereira, R. M. (2020). *Programação linear: Uma proposta de sequência didática para o ensino médio e um estudo de caso* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás].
- Pinochet, L. H. C. (2016). Uso estratégico dos sistemas de informação no apoio aos processos de negócio: Estudo de caso na indústria de alimentos. *Revista Administração em Diálogo – RAD*, 18(3).
- Pinto, K. C. R. (2008). *Aprendendo a decidir com a pesquisa operacional: Modelos e métodos de apoio à decisão* (2ª ed.). EDUFU.
- Reis Portilho, G., et al. (2023). Pesquisa operacional utilizada na maximização de um processo em uma empresa do ramo de algodão hidrófilo.
- Silva Filho, O. S., Cezarino, W., & Ratto, J. (2009). Planejamento agregado da produção: Modelagem e solução via planilha Excel & Solver. *Revista Produção Online*, 9(3).
- Tirone, G. S. P. C. (2019). *Programação linear: Uma aplicação ao problema da dieta*. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande.
- Vom Brocke, J., Hevner, A., & Maedche, A. (2020). Introduction to design science research. In *Design science research. Cases* (pp. 1–13).