

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Alexandre Korosi Casarin

Otimização de escala de funcionários em uma empresa de dark kitchens

São Paulo

2025

ALEXANDRE KOROSI CASARIN

Otimização de escala de funcionários em uma empresa de dark kitchens

Versão Original

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Área de Concentração: Gestão de pessoas

Orientador: Renato de Oliveira Moraes.

São Paulo

2025

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Casarin, Alexandre Korosi

Otimização de escala de funcionários em uma empresa de dark kitchens
/ A. K. Casarin -- São Paulo, 2025.

60 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Gestão de pessoas I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Produção II.t.

Nome: CASARIN, Alexandre Korosi

Título: Otimização de escala de funcionários em uma empresa de dark kitchens

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado em ____ de _____ de 2025.

Banca Examinadora	
Prof. Dr.	_____
Instituição	_____
Julgamento	_____
Prof. Dr.	_____
Instituição	_____
Julgamento	_____
Prof. Dr.	_____
Instituição	_____
Julgamento	_____

RESUMO

CASARIN, Alexandre Korosi. *Otimização de escala de funcionários em uma empresa de dark kitchens*. 2025. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2025.

O presente trabalho desenvolve um modelo de voltado à otimização das escalas de funcionários em uma empresa de dark kitchens, ambiente marcado por elevada variabilidade de demanda, picos concentrados nos horários de almoço e jantar e coexistência de diferentes regimes de trabalho. Para traduzir o comportamento estocástico dos pedidos em requisitos operacionais concretos, utilizou-se o limite superior de tolerância do tempo de trabalho estimado, com base no histórico de pedidos. Esse indicador permitiu estimar, com confiança estatística, a meta mínima de funcionários necessária em cada hora e dia da semana. A partir desses parâmetros, formulou-se um modelo de programação linear inteira, cuja função objetivo consiste em minimizar o custo total mensal da força de trabalho, respeitando restrições operacionais e legais, como cobertura mínima por horário, presença obrigatória de funcionários próprios e janelas admissíveis de início de turno para cada regime de trabalho. O modelo foi aplicado a sete unidades reais da empresa, utilizando dados coletados em campo e solucionado via OpenSolver no Google Sheets. Os resultados indicaram que as escalas geradas reduziram o custo total de mão de obra em aproximadamente R\$ 20 mil no mês analisado, equivalente a um aumento de 9,55% no lucro associado às unidades estudadas. As maiores economias ocorreram em unidades com maior volume de pedidos, enquanto unidades de menor demanda apresentaram variações discretas para cima, sugerindo que, atualmente, podem estar operando com equipes insuficientes. O modelo privilegiou o uso de diaristas de quatro horas para cobrir picos com menor ociosidade. A análise revelou ainda que a metodologia proposta é replicável, transparente e adaptável a diferentes cenários, podendo ser incorporada à rotina de planejamento da empresa e aplicada em outras organizações do setor. Conclui-se que a utilização de métricas estatísticas de demanda pode tornar o processo de dimensionamento de equipes significativamente mais eficiente, econômico e fundamentado em dados.

Palavras-chave: dark kitchens; escalonamento de pessoal; programação linear inteira; demanda variável; otimização de custos.

ABSTRACT

CASARIN, Alexandre Korosi. Optimization of Employee Scheduling in a Dark Kitchen Company. 2025. 59 p. Undergraduate Thesis (Production Engineering) – Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2025.

This study develops and applies an operational research model aimed at optimizing employee schedules in a dark kitchen company, an environment characterized by high demand variability, concentrated peaks during lunch and dinner hours, and the coexistence of different work arrangements. To translate the stochastic behavior of incoming orders into concrete operational requirements, the model uses the upper tolerance limit of estimated work time based on historical order data. This indicator enables statistically grounded estimation of the minimum number of employees required in each hour and day of the week. Using these parameters, an integer linear programming model was formulated, with the objective of minimizing the total monthly labor cost while satisfying operational and legal constraints, such as minimum staffing coverage per time slot, mandatory presence of full-time employees, and admissible start times for each work regime. The model was applied to seven real units of the company, using field-collected data and solved via OpenSolver in Google Sheets. The results indicated that the generated schedules reduced the total labor cost by approximately R\$ 20,000 in the month analyzed, equivalent to a 9.55% increase in the profit associated with the units studied. The largest savings occurred in units with higher order volumes, while lower-demand units exhibited slight cost increases, suggesting that they may currently be understaffed. The model favored the allocation of four-hour temporary workers to cover demand peaks with reduced idle time. The analysis also revealed that the proposed methodology is replicable, transparent, and adaptable to different scenarios, making it suitable for integration into the company's planning routine and for application in other organizations in the sector. The study concludes that combining operational research techniques with statistical demand metrics can make workforce sizing significantly more efficient, cost-effective, and data-driven.

Keywords: dark kitchens; workforce scheduling; operational research; integer linear programming; variable demand; cost optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Valores tabelados do fator “k”	18
Figura 2 - Distribuição de pedidos entre os meses de agosto de 2023 e agosto de 2024.....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição da mão de obra operacional.....	12
Tabela 2 - Equipe de funcionários por unidade em Julho de 2025.....	25
Tabela 3 - Custos de equipe operacional por unidade em reais.....	26
Tabela 4 - UTL do TOE na unidade Vargas*.....	27
Tabela 5 - Meta mínima de funcionários na unidade Vargas.....	28
Tabela 6 - Restrição mínima de funcionários próprios (para todas as unidades)...	29
Tabela 7 - Variáveis de decisão (entrada de funcionários).....	31
Tabela 8 - Variáveis de decisão otimizadas na unidade Vargas.....	38
Tabela 9 - Solução do modelo: Trabalhadores em cada regime por unidade.....	39
Tabela 10 - Comparação dos custos das soluções com os custos reais por unidade.....	40
Tabela 11 - Custo por hora de cada regime de trabalho.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA EMPRESA.....	12
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 OBJETIVO DO ESTUDO.....	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3 METODOLOGIA.....	21
3.1 CÁLCULO DO LIMITE SUPERIOR DO TEMPO DE OPERAÇÃO EFETIVA (UTL do TOE).....	23
3.2 DEFINIÇÃO DA DEMANDA DE FUNCIONÁRIOS.....	26
4 DADOS COLETADOS EM CAMPO.....	27
4.1 DADOS DE EQUIPE E CUSTOS POR UNIDADE.....	27
4.2 DADOS DO LIMITE SUPERIOR DO TEMPO DE OPERAÇÃO EFETIVA (UTL do TOE).....	28
4.3 DADOS DE META MÍNIMA DE FUNCIONÁRIOS POR UNIDADE.....	29
5 MODELO APLICADO.....	32
5.1 CONJUNTOS E ÍNDICES.....	34
5.2 PARÂMETROS.....	35
5.3 VARIÁVEIS DE DECISÃO.....	36
5.4 FUNÇÃO OBJETIVO.....	36
5.5 RESTRIÇÕES.....	37
5.5.1 COBERTURA MÍNIMA DE FUNCIONÁRIOS POR HORÁRIO.....	37
5.5.2 MÍNIMO DE FUNCIONÁRIOS PRÓPRIOS (SEGUNDA A SÁBADO).....	37
5.5.3 CONDIÇÃO DE DOMINGO: FUNCIONÁRIO PRÓPRIO OU DIARISTAS.....	38
5.5.4 DOMÍNIO DAS VARIÁVEIS.....	38
6 RESULTADOS.....	39
7 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	42
8 CONCLUSÃO.....	45
9 REFERÊNCIAS.....	48
10 APÊNDICES.....	52

1 INTRODUÇÃO

Percebe-se, nos últimos anos, um crescimento acelerado do consumo de refeições por aplicativos de entrega, tendência catalisada pela pandemia de COVID-19 e que permanece estrutural mesmo após a retomada do consumo presencial. A literatura acadêmica mostra que as restrições de mobilidade e as preocupações sanitárias intensificaram a migração do pedido presencial para o digital e consolidaram rotinas de conveniência, com efeitos persistentes na propensão ao uso de aplicativos no período pós-pandemia (KUMAR, 2021; LI; CAI; LIU, 2022; SHANKAR et al., 2022; MADINGA; MSOSA; RUNGANI, 2023). Esses trabalhos também evidenciam que a difusão do canal de entrega de pedidos, ou delivery, não foi apenas conjuntural: ela se baseou em adaptação tecnológica dos prestadores de serviço, mudanças de hábito dos consumidores e ganhos logísticos associados à organização digital de pedidos, preparando o terreno para modelos de produção orientados exclusivamente à entrega.

Nesse cenário, as dark kitchens, também chamadas ghost, cloud ou virtual kitchens, despontam como um arranjo produtivo centrado no atendimento de pedidos remotos, sem salão de consumo. Estudos com recorte internacional e aplicação no Brasil caracterizam o fenômeno como uma reconfiguração espacial e organizacional da alimentação fora do lar, com ênfase na natureza “delivery only”, na intermediação por plataformas e na possibilidade de operar cozinhas privadas ou compartilhadas (HAKIM et al., 2022; HAKIM et al., 2023; NIELD et al., 2025). As evidências empíricas para centros urbanos brasileiros documentam a presença de dark kitchens mapeadas a partir de dados das plataformas, discutindo implicações para vigilância sanitária, relações de trabalho e ordenamento urbano. Em termos operacionais, a cadeia logística de entrega de pedidos exige padronização de tarefas e sincronização fina com a disponibilidade de entregadores sob janelas rígidas de nível de serviço.

Esse planejamento depende de uma cultura robusta de dados. Em ambientes de ciclo curto e alta variabilidade, decisões como “quanto” e “quando” escalar pessoas por função derivam de previsões que combinam dados internos, como histórico de pedidos por intervalo, tempos de preparo por SKU (stock keeping unit, ou unidade de manutenção de estoque) e sinais externos (clima, calendário, eventos locais). A literatura de operações em restaurantes destaca que a melhoria da acurácia de previsão, quando unida a decisões de dimensionamento por intervalo, traduz-se em redução de filas, tempos de ciclo e ociosidade, ao mesmo tempo em que sustenta metas de qualidade e consistência do produto (ROY; SARKAR; SRINIVASAN, 2022; SHANKAR et al., 2022). Em ghost/dark kitchens, recentes pesquisas

integram preparação e despacho na mesma estrutura decisória, mostrando que sincronizar o “cozinhar” com o “enviar” traz ganhos expressivos (NERIA et al., 2024).

No nível tático-operacional, o problema de ajustar a mão-de-obra à demanda, respeitando legislação, preferências e custos, é classicamente modelado como *crew scheduling*. Alguns estudos mapeiam formulações em programação inteira/mista, cobrindo objetivos como custo, cobertura e equidade, além de restrições de jornada, descanso e habilidades (ERNST et al., 2004; VAN DEN BERGH et al., 2013). Em contextos de demanda não estacionária ao longo do dia, caso típico das cozinhas voltadas à entrega, torna-se crítico unir previsão, dimensionamento e escalas em ajustes e planejamentos feitos ao longo do dia. A Lei de Little fornece bases para relacionar taxas de chegada, trabalho em progresso e tempo médio de fluxo, conectando metas operacionais (como tempo de ciclo) ao planejamento de capacidade (LITTLE, 2011). Em paralelo, a literatura recente em escalas robustas enfatiza o papel de reservas operacionais e políticas de recuperação perante faltas ou choques: no setor aéreo, por exemplo, modelos de *reserve-crew scheduling* e *crew recovery* usam formulações *branch-and-price* e medidas de robustez para reduzir cancelamentos e alterações de última hora, princípios análogos aos de folgas e plantões em serviços (SCHROTENBOER et al., 2023).

Dark kitchens são intensivas em processos e qualificações diversificadas. Por isso, modelos com trabalhadores multicompetência ganham relevância: revisões sistematizam ganhos de flexibilidade e resiliência ao permitir que um mesmo colaborador transite entre funções diferentes, com impactos diretos na robustez frente a ausências e variações de volume (AFSHAR-NADJAFI, 2021; NASIRIAN; VAN HOOFF; SMIT, 2025).

Além disso, as dark kitchens têm se consolidado como modelo de negócio dinâmico e escalável, especialmente em grandes centros urbanos como São Paulo (VU et al., 2024). Elas operam em um ambiente altamente competitivo, considerando que estão inseridas no mercado imobiliário voltado para o setor de alimentação (LAHERI et al., 2025). Nesse sentido, a eficiência operacional, incluindo a adequação da escala de funcionários à demanda variável, é um fator crítico para a rentabilidade do negócio. A fim de regular as jornadas de trabalho dos funcionários de operação, algumas outras estratégias podem ser adotadas, como estipular mão-de-obra “on-demand” (LU et al., 2023). Para isso, é possível analisar o histórico de pedidos recentes e usar esses dados para criação das jornadas de trabalho.

No contexto da engenharia de produção, como citado anteriormente, a otimização da escala de funcionários em dark kitchens se aproxima de desafios clássicos de *crew scheduling*, comumente estudados em companhias aéreas e offshore. Esses problemas

envolvem alocar equipes às tarefas (voos ou turnos) de forma a garantir cobertura, cumprimento de regulação, preferências e custos mínimos (AGGARWAL et al., 2023). No problema de airline crew pairing, o objetivo é gerar sequências de voos (pairings) que cubram toda a malha aérea com custo reduzido, respeitando limites de jornada e regras operacionais. Os métodos mais avançados utilizam modelos de programação inteira combinados com outras técnicas para atingir o mesmo objetivo de redução de custos (XU et al., 2024). Outro exemplo é o modelo de robust crew recovery, que incorpora imprevisibilidades e alterações de última hora (como faltas), propondo reparos operacionais que preservem flexibilidade e evitam cancelamentos (SCHROTENBOER et al., 2023).

Essas aplicações são diretamente transferíveis para a escala de funcionários em dark kitchens, especialmente para funções simples, como coleta e despacho de pedidos para entregadores, que exigem baixa qualificação. É necessário um planejamento de sequências de turnos para atender janelas de maior fluxo (horário de pico, como almoço e jantar) com mínimo custo, considerando atribuição de turnos planejados a funcionários específicos, incluindo diferentes turnos, descansos legais e regras trabalhistas. Embora o problema de criação de escalas de trabalho específicas para o contexto de dark kitchens seja amplo (e possa inclusive ser aplicado a outras indústrias), o estudo e aplicação prática de uma solução para uma organização real no ramo é fundamental para avaliar os modelos utilizados, comparando a solução encontrada com dados atuais da empresa. Além disso, trabalhos dessa natureza incentivam uma cultura de decisões baseadas em dados na empresa, elevando a eficiência em custos e a utilização otimizada de recursos humanos.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA EMPRESA

Este trabalho foi desenvolvido em parceria com uma empresa global no ramo de dark kitchens, com sede em Los Angeles, Estados Unidos. No Brasil, ela possui unidades em São Paulo, sendo a principal região de atuação, e no Rio de Janeiro. Em cada unidade há diversas cozinhas que podem ser alugadas separadamente ou em conjunto para os clientes. A empresa oferece outros serviços como segurança, limpeza e manutenção dos prédios, deixando o cliente focado apenas na produção de comida. Além disso, a logística envolvendo a coleta, organização e despacho dos pedidos para os entregadores parceiros é feita por funcionários de operação, os quais serão foco deste trabalho. É importante ressaltar que o autor deste trabalho de formatura era responsável pela análise de dados e inteligência de negócios (business intelligence) dessa empresa, no momento do desenvolvimento do trabalho. Além disso, a

empresa preferiu ocultar seu nome no texto do trabalho, a fim de preservar informações potencialmente estratégicas.

No âmbito de dark kitchens, a força de trabalho operacional representa uma das maiores parcelas dos custos operacionais. No caso da empresa em questão, no Brasil, a mão de obra operacional representa 35% da receita total, considerando o aluguel das cozinhas e repasse de contas de luz e água para os clientes. Além disso, a equipe operacional no Brasil pode ser dividida em dois tipos diferentes: Trabalhadores com carteira assinada, os quais podem ter jornadas de trabalho 6x1 (Trabalha de segunda-feira a sábado, oito horas por dia) ou 12x36 (Trabalha e folga em dias alternados, 12 horas por dia), ou diaristas, que podem ter jornadas de quatro, oito ou doze horas. Por questões de segurança, como abertura e fechamento das unidades e outros procedimentos internos dos funcionários de operação, existe a necessidade de que sempre haja ao menos um funcionário próprio de operação, isto é, não diarista, sempre presente durante o período operacional de cada unidade, exceto aos domingos, em que pode haver a alocação de diaristas fixos para cobrir a folga de funcionários na escala 6x1. Diaristas fixos aos domingos devem realizar turnos de oito ou doze horas, não podendo haver apenas diaristas de quatro horas. A Tabela 1 a seguir mostra os diferentes tipos de contratação, com suas respectivas jornadas de trabalho e custos para a empresa.

Tabela 1 - Descrição da mão de obra operacional

Tipo de contrato	Jornada	Custo
Funcionário próprio	6x1 (8 horas diárias)	R\$4.500 / mês
	12x36 (12 horas diárias)	R\$4.500 / mês
Diarista	4 horas	R\$90 / turno
	8 horas	R\$120 / turno
	12 horas	R\$180 / turno

Fonte: Empresa de dark kitchens

Além disso, a empresa estudada já possui uma área de dados bem definida que facilita a extração de dados sobre pedidos recebidos pelas cozinhas. Os pedidos podem ser realizados por meio de diferentes plataformas intermediadoras, como IFood ou 99Food, e um software próprio agrega todos os pedidos para cada cozinha, gerando uma base de dados de pedidos completa no *BigQuery*, um serviço de computação em nuvem do Google, voltado para análise de dados em larga escala (*Big Data*) e processamento de consultas rápidas em SQL (*Structured Query Language*). Para fins de visualização, esses dados podem ser extraídos do *BigQuery* e consolidados no *Looker Studio*, uma ferramenta gratuita do Google para criação de relatórios e visualizações interativas de dados. Esses dados sobre volume de pedidos serão

utilizados futuramente para entender a demanda operacional de cada unidade ao longo do dia, e consequentemente a quantidade de funcionários que devem ser alocados em cada horário.

Além do aluguel de cozinhas, cada unidade possui também outro modelo de negócios, baseado no estoque de produtos prontos, como *cookies* e sorvetes, montagem e despacho de pedidos. Para armazenar esses produtos, existem espaços destinados a cozinhas que recebem refrigeradores ou estantes, dependendo das condições de armazenamento, sendo os espaços divididos em estoque seco, gelado ou congelado. Esse modelo é chamado de *Retail*, e apesar de representar cerca de 20% da receita obtida com o aluguel de cozinhas, ainda é muito relevante para os negócios da empresa. No modelo de *Retail*, a montagem dos pedidos é geralmente mais complexa, pois os clientes parceiros querem ter visibilidade da quantidade de produtos em estoque (o que exige que o funcionário da operação faça esse controle após cada pedido entregue), além do fato de que a média de unidades de produtos por pedido de *Retail* é maior que para as cozinhas comuns.

Tudo isso gera uma média de cinco minutos para montagem e despacho de cada pedido de *Retail*, enquanto no caso de pedidos de cozinha esse tempo é de dois minutos em média. Esses dados serão importantes para a modelagem do problema, uma vez que cada unidade tem uma porcentagem de pedidos referentes a *Retail*, o que pode aumentar a demanda total em tempo de operação da unidade. Esses fatores serão melhor explicados na seção de metodologia deste trabalho.

1.2 JUSTIFICATIVA

A gestão eficiente da escala de funcionários é crítica para o desempenho operacional e financeiro em food service, sobretudo em dark kitchens, onde a demanda é volátil, concentra-se em picos e impõe restrições operacionais. Nesses ambientes, adaptar rapidamente pessoas às oscilações de volume é determinante: superalocação infla o custo por pedido; subalocação degrada o nível de serviço, eleva tempos de espera e induz horas extras e retrabalho (DEFRAEYE; VAN NIEUWENHUYSE, 2016; GREEN; KOLESAR; WHITT, 2007). A calibragem inadequada da escala pressiona custos e qualidade, podendo levar a contratações emergenciais e sobrecarga da equipe, enquanto gargalos em embalagem ou expedição comprometem pontualidade e consistência da entrega, atributos centrais para a avaliação do cliente em plataformas. Evidências específicas de dark kitchens no Brasil descrevem operações “delivery only” intensivas em padronização e sincronização com a

última milha, reforçando que a decisão de escala por função e por intervalo impacta diretamente desempenho e competitividade (HAKIM et al., 2023).

Do ponto de vista da engenharia de produção, o problema de otimização da escala de funcionários em uma dark kitchens está no cerne do planejamento e controle da produção em serviços de ciclo curto. Revisões de referência mostram que combinações de programação inteira/mista, geração de colunas e heurísticas constroem escalas factíveis que respeitam jornada, descanso, preferências e habilidades, equilibrando custo, cobertura e, crescentemente, equidade (ERNST et al., 2004; VAN DEN BERGH et al., 2013). Além disso, transformar metas operacionais, como tempo de ciclo e taxa de atendimento, na quantidade de funcionários necessária ao longo do dia exige uma previsão de demanda integrada ao cálculo do dimensionamento. (GREEN; KOLESAR; WHITT, 2007; ROY; SARKAR; SRINIVASAN, 2022). Em cozinhas organizadas por postos de trabalho diferentes (como preparo, cocção, montagem e embalagem), ter funcionários que conseguem atuar em mais de um desses postos aumenta a flexibilidade da operação e ajuda a lidar com faltas e picos de demanda. Além disso, manter uma pequena reserva de pessoal reduz o risco quando há imprevistos. (AFSHAR-NADJAFI, 2021; SCHROTENBOER et al., 2023).

1.3 OBJETIVO DO ESTUDO

Assim sendo, este trabalho tem como objetivo desenvolver e aplicar um modelo de otimização capaz de definir escalas de funcionários que minimizem o custo total de mão de obra em uma operação de dark kitchens, garantindo simultaneamente a cobertura adequada das demandas horárias de produção e atendimento. O estudo busca traduzir padrões históricos de pedidos em requisitos operacionais robustos e, a partir deles, formular uma programação de turnos que respeite restrições legais, diferenças entre regimes de trabalho e características específicas desse tipo de operação. Dessa forma, pretende-se oferecer um instrumento quantitativo que apoie a tomada de decisão gerencial e aumente a eficiência do planejamento de equipes.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além desta introdução, que apresenta o contexto, a justificativa e o objetivo do estudo, o trabalho está organizado em sete capítulos adicionais. O Capítulo 2 apresenta a revisão de literatura, abordando conceitos fundamentais de dimensionamento de equipes, modelos de

escala e métodos de otimização aplicados a operações de serviços. O Capítulo 3 descreve a metodologia utilizada, detalhando o cálculo do limite superior do tempo de operação efetiva (UTL do TOE) e o processo de transformação desse indicador em demanda horária de funcionários. O Capítulo 4 reúne os dados coletados em campo, incluindo informações sobre equipes, custos unitários, valores do UTL do TOE e metas mínimas de funcionários por unidade. O Capítulo 5 apresenta o modelo de otimização aplicado, definindo formalmente conjuntos, parâmetros, variáveis de decisão, função objetivo e restrições. O Capítulo 6 relata os resultados obtidos a partir da implementação do modelo, enquanto o Capítulo 7 discute e analisa criticamente esses resultados à luz do contexto operacional estudado. Por fim, o Capítulo 8 apresenta a conclusão, sintetizando as principais contribuições do trabalho e sugerindo oportunidades para estudos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O problema de criação de escalas em dark kitchens é abordado por meio da organização da operação com base na previsão de demanda. Nesse tipo de abordagem, o volume esperado de pedidos, inferido a partir de dados históricos, serve como insumo principal para determinar a necessidade de alocação de funcionários ao longo do tempo. Isso permite adaptar a escala de trabalho à flutuação da demanda de forma mais eficiente, evitando tanto a ociosidade quanto a sobrecarga.

Işeri et al. (2025) propõem um modelo de escalonamento de força de trabalho em duas etapas, no qual o número de trabalhadores por turno é definido a partir de previsões de demanda e, em seguida, os trabalhadores são alocados com base em suas habilidades, preferências e regras de justiça. O modelo utiliza fronteiras de Pareto para equilibrar eficiência operacional e equidade, sendo aplicado com sucesso a dados reais de uma rede de restaurantes. Essa separação entre decisão quantitativa e qualitativa na alocação é útil em contextos operacionais complexos como o que se pretende abordar neste trabalho.

Já Bürgy et al. (2019) analisam o problema de escalonamento sob variações curtas e imprevisíveis da demanda, como picos sazonais ou variações intra diárias. Eles desenvolvem modelos de programação inteira que permitem a extensão dinâmica de turnos em resposta a desvios entre demanda prevista e realizada. Essa abordagem pode ser vantajosa para sistemas onde há um bom histórico de dados, mas ainda assim existe um grau de incerteza, como é o caso de operações de delivery.

Para o caso específico da criação de escalas em dark kitchens, podemos fazer um paralelo com o problema clássico de *crew scheduling*, comum no setor aéreo. Ambos compartilham desafios de alocação de pessoal sob múltiplas restrições, como cobertura mínima por período e minimização de custos, o que torna as soluções desenvolvidas na literatura de *crew scheduling* altamente relevantes para o contexto estudado.

A estrutura tradicional do problema é dividida em duas fases: o *Crew Pairing Problem* (CPP), responsável pela geração de combinações válidas de turnos (pairings), e o *Crew Rostering Problem* (CRP), que trata da atribuição dessas combinações aos funcionários. A formulação do CPP é geralmente baseada em um modelo de *set partitioning*, no qual cada coluna representa uma sequência viável de turnos e o objetivo é minimizar o custo total, sujeitando-se à cobertura de todas as tarefas ou períodos (XU et al., 2024). A natureza combinatória do problema torna inviável a enumeração completa dos pairings; por isso, recorre-se a técnicas como Column Generation (CG) e sua integração com métodos de

Branch-and-Price (B&P). O subproblema de geração de colunas é geralmente formulado como um problema de caminho mais curto com restrições de recursos (RCSPP), utilizando programação dinâmica com rótulos (*labeling algorithms*), como descrito por Schrottenboer et al. (2023).

No artigo de Xu (2024), os autores fazem uma revisão sistemática dessas abordagens, destacando o papel dos algoritmos exatos e heurísticos na resolução de instâncias reais de grande escala. Os autores também discutem métodos de aproximação por *metaheurísticas*, como *genetic algorithms* e *large neighborhood search (LNS)*, que oferecem flexibilidade para incorporar preferências dos trabalhadores, múltiplos tipos de contrato e regras trabalhistas.

A robustez dos modelos também é uma preocupação central. Schrottenboer et al. (2023) propõem um modelo de *crew reserve scheduling* baseado em programação estocástica com dois estágios. O primeiro estágio gera a escala nominal, enquanto o segundo avalia a performance da escala sob diferentes cenários de ausência, modelados como cadeias de Markov para simular eventos como doenças, faltas ou atrasos. A função objetivo incorpora o custo esperado de redistribuição, horas extras e uso de pessoal de reserva.

Zeighami, Soumis (2019) sugerem um modelo integrado para os problemas de pairing e assignment (atribuição), eliminando a divisão tradicional entre CPP e CRP. A formulação é baseada em um modelo de *set packing* estendido, que incorpora diretamente as variáveis de atribuição individual. A solução é alcançada por meio de um algoritmo B&P acelerado com heurísticas de colunas iniciais e estratégias de estabilização dual. Esse tipo de modelo é altamente relevante para dark kitchens que precisam gerar escalas em que cada colaborador possui múltiplas opções de turnos, e onde os custos e preferências variam entre indivíduos.

Antunes et al. (2019) tratam do problema de emparelhamento robusto, propondo um modelo de *robust optimization*, onde o tempo de cada tarefa pode variar dentro de um intervalo de incerteza. O modelo usa restrições adicionais para garantir viabilidade sob qualquer cenário dentro do conjunto de incertezas, evitando soluções que possam se tornar inviáveis em condições adversas. Em ambientes como dark kitchens, onde atrasos no preparo, faltas e picos de demanda são comuns, a adoção de técnicas de robustez pode garantir maior estabilidade nas escalas geradas.

Em síntese, os métodos consolidados na literatura de *crew scheduling* — como *column generation*, *robust optimization*, *stochastic programming*, e *metaheurísticas híbridas* — oferecem um conjunto poderoso de ferramentas para enfrentar os desafios de escalonamento de pessoal. Entretanto, o problema enfrentado em dark kitchens é ainda mais simples, tanto em termos de estrutura, já que não há locomoção constante de equipes, como de tamanho,

sendo geralmente times menores. Dessa forma, é possível utilizar uma abordagem de otimização mais simples, sem necessariamente utilizar métodos heurísticos ou metaheurísticas. Por fim, a adaptação desses modelos requer considerar as especificidades do setor, como a coexistência de contratos fixos e flexíveis, as janelas de demanda concentradas e as restrições legais trabalhistas, mas os paralelos conceituais são claros. Como as restrições trabalhistas limitam opções de escala, como o fato de o descanso na escala 6x1 ser sempre aos domingos, o problema acaba sendo simplificado.

Outro exemplo semelhante seria na área da saúde, envolvendo a criação de escalas para médicos e enfermeiros. Segundo Griffiths (2021), a criação de escalas baseada na média histórica de pacientes em cada horário gera menores custos, mas pode causar falta de pessoal em alguns turnos, visto que a distribuição de pacientes ao longo do tempo em cada horário sofre variações. Planos mais resilientes, utilizando limites superiores da distribuição, teriam um custo fixo maior, porém são mais robustos diante de variações de demanda, com menor risco de falha de atendimento. A lógica para o caso de dark kitchens é a mesma, sendo que a criação de escalas neste trabalho é em relação a funções operacionais básicas, como organização e transporte interno de pedidos, o que gera a possibilidade de contratação de diaristas, que podem eventualmente atender variações inesperadas na demanda.

Ainda assim, é possível utilizar o conceito de intervalos de tolerância, apresentado por Juran (2010), para a criação de escalas com base na demanda. Esse conceito é projetado para conter uma proporção “p” da população, com um nível de confiança “γ”. A partir desse conceito, descarta-se o uso de métricas simples como a média de tempo total necessária para processar os pedidos recebidos em um intervalo de tempo, já que esta estaria mais suscetível a variações na distribuição de pedidos para um determinado período do dia. A fórmula utilizada para calcular o intervalo em questão é apresentada na Equação 1 a seguir:

$$Tolerância(p, \gamma) = \bar{x} \pm k.s \text{ (Equação 1)}$$

$$UTL(p, \gamma) = \bar{x} + k.s \text{ (Equação 2)}$$

A partir da Equação 1, calcula-se o limite superior de tolerância (Upper tolerance limit, ou UTL) considerando apenas o maior valor do intervalo, conforme Equação 2, já que se trata de um problema unilateral, ou mono caudal. Segundo Juran (2010), o limite superior depende da média amostral \bar{x} , do desvio padrão amostral “s” e de um fator “k” tabelado, o qual depende da quantidade de amostras “n”, da proporção da população “p” a ser superada e do nível de confiança “γ”. A Figura 1 é uma tabela apresentada no livro de Juran (2010) com os valores tabelados do fator “k”.

Figura 1 - Valores tabelados do fator “k”

P n	$\gamma = 0.90$				$\gamma = 0.95$				$\gamma = 0.99$			
	0.90	0.95	0.99	0.999	0.90	0.95	0.99	0.999	0.90	0.95	0.99	0.999
One-sided Factors*												
3	4.258	5.310	7.340	9.651	6.158	7.655	10.552	13.857				
4	3.187	3.957	5.437	7.128	4.163	5.145	7.042	9.215				
5	2.742	3.400	4.666	6.112	3.407	4.202	5.741	7.501				
6	2.494	3.091	4.242	5.556	3.006	3.707	5.062	6.612	4.408	5.409	7.334	9.540
7	2.333	2.894	3.972	5.201	2.755	3.399	4.641	6.061	3.856	4.730	6.411	8.348
8	2.219	2.755	3.783	4.955	2.582	3.188	4.353	5.686	3.496	4.287	5.811	7.566
9	2.133	2.649	3.641	4.772	2.454	3.031	4.143	5.414	3.242	3.971	5.389	7.014
10	2.065	2.568	3.532	4.629	2.355	2.911	3.981	5.203	3.048	3.739	5.075	6.603
11	2.012	2.503	3.444	4.515	2.275	2.815	3.852	5.036	2.897	3.557	4.828	6.284
12	1.966	2.448	3.371	4.420	2.210	2.736	3.747	4.900	2.773	3.410	4.633	6.032
13	1.928	2.403	3.310	4.341	2.155	2.670	3.659	4.787	2.677	3.290	4.472	5.826
14	1.895	2.363	3.257	4.274	2.108	2.614	3.585	4.690	2.592	3.189	4.336	5.651
15	1.866	2.329	3.212	4.215	2.068	2.566	3.520	4.607	2.521	3.102	4.224	5.507
16	1.842	2.299	3.172	4.164	2.032	2.523	3.463	4.534	2.458	3.028	4.124	5.374
17	1.820	2.272	3.136	4.118	2.001	2.486	3.415	4.471	2.405	2.962	4.038	5.268
18	1.800	2.249	3.106	4.078	1.974	2.453	3.370	4.415	2.357	2.906	3.961	5.167
19	1.781	2.228	3.078	4.041	1.949	2.423	3.331	4.364	2.315	2.855	3.893	5.078
20	1.765	2.208	3.052	4.009	1.926	2.396	3.295	4.319	2.275	2.807	3.832	5.003
21	1.750	2.190	3.028	3.979	1.905	2.371	3.262	4.276	2.241	2.768	3.776	4.932
22	1.736	2.174	3.007	3.952	1.887	2.350	3.233	4.238	2.208	2.729	3.727	4.866
23	1.724	2.159	2.987	3.927	1.869	2.329	3.206	4.204	2.179	2.693	3.680	4.806
24	1.712	2.145	2.969	3.904	1.853	2.309	3.181	4.171	2.154	2.663	3.638	4.755
25	1.702	2.132	2.952	3.882	1.838	2.292	3.158	4.143	2.129	2.632	3.601	4.706
30	1.657	2.080	2.884	3.794	1.778	2.220	3.064	4.022	2.029	2.516	3.446	4.508
35	1.623	2.041	2.833	3.730	1.732	2.166	2.994	3.934	1.957	2.431	3.334	4.364
40	1.598	2.010	2.793	3.679	1.697	2.126	2.941	3.866	1.902	2.365	3.250	4.255
45	1.577	1.986	2.762	3.638	1.669	2.092	2.897	3.811	1.857	2.313	3.181	4.168
50	1.560	1.965	2.735	3.604	1.646	2.065	2.863	3.766	1.821	2.296	3.124	4.096

Fonte: Juran (2010)

3 METODOLOGIA

Para otimizar a criação da escala de funcionários na empresa em questão, é necessário primeiramente definir como e com base em quais parâmetros essas escalas serão criadas. Por se tratar de um problema combinatório (ou seja, buscar a escala que atenda o número mínimo de funcionários estipulados, por hora e dia da semana, com o menor custo) é possível concentrar esforços para solucionar o caso de uma unidade em particular, podendo a solução ser reutilizada nas demais.

A variável base para estimar a demanda por mão de obra operacional em cada unidade é o tempo de operação efetiva (TOE), que inicialmente será calculado em minutos, correspondente ao tempo total necessário de trabalho em cada hora e dia da semana, que é calculado por meio da média ponderada para processar pedidos de Retail (os quais levam em média 5 minutos para serem processados pelos funcionários operacionais) e cozinhas comuns, os quais têm duração média de 2 minutos. O cálculo do TOE pode ser expresso a partir da Equação 3 abaixo, em que " $Pedidos_{Retail}$ " e " $Pedidos_{Cozinhas}$ " representam a quantidade de pedidos do modelo de Retail ou de cozinhas comuns, respectivamente.

$$TOE = 5Pedidos_{Retail} + 2Pedidos_{Cozinhas} \quad (\text{Equação 3})$$

Para um conjunto de valores de TOE em cada semana, é possível calcular o limite superior do tempo de operação efetiva (UTL do TOE) aplicando a Equação 2 a esse conjunto. Nesse caso, na Equação 2, o valor de \bar{x} será a média amostral do conjunto de valores de TOE, enquanto "s" será o desvio padrão da amostra, para cada conjunto correspondente a um horário e dia da semana específicos. Como explicado anteriormente, "k" é um fator de tolerância tabelado. Para o problema de criação de escalas, se espera que a quantidade de funcionários presentes seja sempre superior à quantidade necessária para atender a demanda de pedidos em cada horário de operação de uma unidade. Dessa forma, para a posterior utilização neste trabalho, apenas o UTL do TOE é necessário, sendo utilizado como limite superior para o cálculo da meta mínima de funcionários por hora e dia da semana, em cada unidade.

A solução do problema pode ser dividida então em algumas etapas:

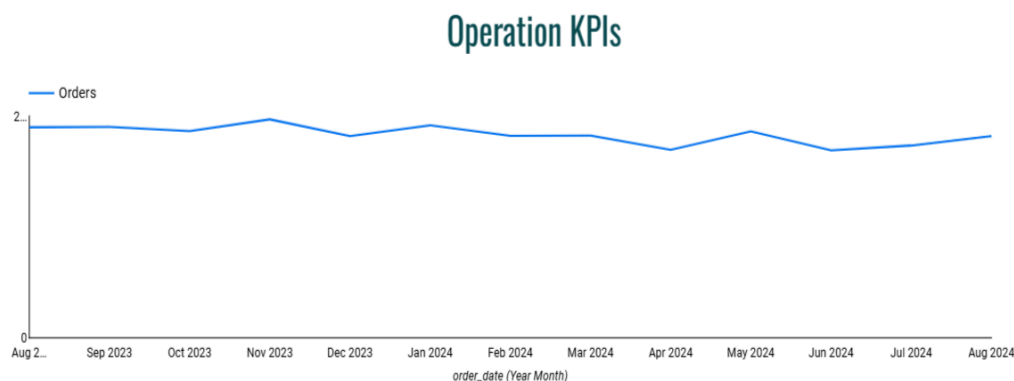
- Cálculo do UTL do TOE por hora e dia da semana que podem ser futuramente atendidos pela equipe gerada pelo modelo.
- Definição da meta mínima de funcionários por unidade (parâmetro do modelo), calculada por meio do UTL do TOE, em cada hora e dia da semana.

- Obtenção de dados coletados em campo de equipe e custos atuais por unidade.
- Aplicação de um modelo de otimização para reduzir custos e garantir cobertura adequada da demanda de funcionários.
- Comparar os resultados obtidos pelo modelo com o número de funcionários atual e os respectivos custos em cada unidade.

Como abordagem prática neste trabalho, será utilizado o Solver do Google Sheets para modelar e resolver o problema de escala de funcionários. Ferramentas como essa são baseadas em métodos clássicos de otimização, especialmente programação linear e programação inteira, permitindo ao usuário definir variáveis de decisão, uma função objetivo e um conjunto de restrições diretamente em um ambiente de planilha. Internamente, o Solver aplica algoritmos como o método Simplex ou branch-and-bound para encontrar soluções ótimas ou aproximadas. Apesar de sua simplicidade, esses recursos são suficientemente robustos para resolver problemas reais de escalonamento, como demonstrado por Dasović et al. (2021), que compararam diferentes ferramentas de otimização baseadas em planilhas aplicadas ao layout de canteiros de obras. A conclusão é que soluções como o Solver do Google Sheets são eficazes para prototipagem e tomada de decisão operacional em problemas de média escala.

Por fins de simplificação e obtenção integral dos dados, todo o trabalho foi desenvolvido com base no mês de julho de 2025. Ao observar a demanda de pedidos total para uma janela de 12 meses, mais especificamente entre agosto de 2023 e o mesmo período de 2024 (Figura 2), é possível notar que não há uma sazonalidade bem definida na demanda de pedidos ao longo do ano. O número absoluto de pedidos por mês foi ocultado para evitar a divulgação de informações sensíveis do negócio. Esse período foi escolhido para análise de sazonalidade, uma vez que no final do ano de 2024 a empresa teve mudanças na quantidade de unidades em operação, o que afetou o total de pedidos realizados no período anual mais recente. Dessa forma, é justificável a análise de um mês específico para o problema aqui analisado, a fim de simplificar o modelo proposto.

Figura 2 - Distribuição de pedidos entre os meses de agosto de 2023 e agosto de 2024



Fonte: Empresa de dark kitchens

O modelo desenvolvido pode ser utilizado futuramente pela empresa para os demais meses, seguindo a mesma lógica de aplicação.

3.1 CÁLCULO DO LIMITE SUPERIOR DO TEMPO DE OPERAÇÃO EFETIVA (UTL do TOE)

Como foi explicado na seção de introdução, os dados de pedidos da empresa são armazenados na plataforma *BigQuery*. Os campos utilizados da tabela geral de pedidos foram: *order_id* (id do pedido, apenas para fins de contagem), *ordered_at* (data e tempo do pedido, em horas, minutos e segundos), *order_date* (data do pedido, calculada a partir da coluna *ordered_at*), *kitchen_hour* (hora do pedido, calculada a partir da coluna *ordered_at*) e *day_of_week* (dia da semana, calculada a partir da coluna *ordered_at*).

A vantagem de ter um banco de dados de histórico de pedidos neste cenário é que há flexibilidade para selecionar diferentes períodos de data. Essa flexibilidade é importante para o estudo, uma vez que a demanda final de funcionários varia conforme o UTL do TOE, o qual por sua vez depende da quantidade de pedidos no período de tempo analisado. Dessa forma, a gerência operacional da empresa, responsável pela criação das escalas de trabalho, pode selecionar os períodos recentes do histórico nos quais se espera uma demanda de pedidos similar à do próximo mês. Isso não acontece, por exemplo, se novos clientes alugarem cozinhas que estavam vagas anteriormente. Nesse caso faria sentido analisar o período após essas mudanças. Ainda assim, utilizar o limite superior gera uma proteção contra essas variações, tornando a solução proposta mais confiável e permitindo análises com períodos históricos maiores.

Para o estudo em questão, foi considerado um período de dez semanas imediatamente anterior ao mês de julho de 2025, para o qual as escalas de funcionários serão criadas pelo modelo e cuja eficiência operacional será comparada às escalas atuais do mesmo mês. A partir da Figura 1, portanto, o valor de “n” a ser considerado é dez. Como é possível alocar diaristas a curto prazo, mesmo após a criação das escalas, foi considerado que as novas escalas a serem criadas a partir do modelo operacional precisam garantir uma cobertura de 90% da distribuição de pedidos em cada hora de cada dia da semana, com uma confiança de 95%. Dessa forma, o valor do fator “k” a ser utilizado em todos os cenários é de 2,355, conforme Figura 1.

Embora para este estudo tenha sido utilizado um período de dez semanas para estimar a demanda operacional de cada unidade, a gestão operacional da empresa pode futuramente analisar períodos de tempo maiores, dada a flexibilidade de tempo no cálculo apresentado na Equação 2. Quanto maior for o período de tempo analisado, mais amostras serão utilizadas para o cálculo do UTL do TOE, tendendo a reduzir o valor do fator “k”, conforme a Figura 1. Isso acontece porque a distribuição se torna mais previsível. Com um maior número de amostras, o desvio padrão amostral também diminui, conforme Equação 4, também apresentado por Juran (2010).

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (\text{Equação 4})$$

Caso haja alterações na configuração das cozinhas, a partir de entradas ou saídas de clientes, e consequentemente haja variação na demanda esperada de pedidos, um período de tempo menor pode ser usado para estimar a demanda de pedidos, e nesse caso o efeito seria inverso, isto é, o desvio padrão amostral e o fator “k” seriam maiores dado a maior imprevisibilidade da distribuição, o que resultaria em uma maior alocação de funcionários em cada hora do dia, causando aumento no custo das escalas geradas.

Após a definição da métrica a ser utilizada para garantir a cobertura de demanda com algum nível de tolerância, é preciso calcular a média amostral \bar{x} e o desvio padrão amostral “s”, variáveis da Equação 2, que serão respectivamente o valor esperado do TOE e seu desvio padrão.

$$E[TOE] = 5E[TOE_Retail] + 2E[TOE_Cozinhas] \quad (\text{Equação 5})$$

Na Equação 5, para o mês de julho, $E[TOE_Retail]$ e $E[TOE_Cozinhas]$ são, respectivamente, os valores do TOE de pedidos relativos a *Retail* e cozinhas comuns em cada hora e dia da semana, calculados por meio de dados coletados em campo na empresa de dark

kitchens estudada, para o mês de julho de 2025. Como o problema envolve dois modelos diferentes, isto é, pedidos de retail ou de cozinhas comuns, é necessário utilizar conceitos de combinações lineares de variáveis aleatórias. A Equação 5 é explicada pela propriedade de linearidade da esperança apresentada por ROSS (2012), conforme Equação 6 abaixo.

$$E[aX + bY] = aE[X] + bE[Y] \quad (\text{Equação 6})$$

Para o cálculo do desvio padrão amostral, não é possível utilizar a Equação 4, visto que o problema não possui uma única variável, mas sim duas, isto é, pedidos de Retail ou cozinhas comuns. Nesse contexto, ROSS (2012) também apresenta o cálculo da variância da combinação linear de duas variáveis, conforme Equação 7.

$$Var(aX + bY) = a^2Var(X) + b^2Var(Y) + 2abCov(X, Y) \quad (\text{Equação 7})$$

Por se tratarem de dois modelos diferentes, sendo que pedidos de cozinhas comuns variam em horários de pico no almoço e janta, enquanto pedidos de retail tendem a ser mais uniformes ao longo do dia, pois geralmente são referentes a reposição de estoque, é possível considerar essas duas variáveis como independentes, sendo a covariância igual a zero. Dessa forma, para o caso deste trabalho, a variância do TOE pode ser calculada por meio da Equação 8 a seguir.

$$Var(TOE) = 25Var(TOE_Retail) + 4Var(TOE_Cozinhas) \quad (\text{Equação 8})$$

O desvio padrão amostral para o período pode então ser calculado pela raiz da variância, conforme Equação 9.

$$s(TOE) = \sqrt{25Var(TOE_Retail) + 4Var(TOE_Cozinhas)} \quad (\text{Equação 9})$$

Finalmente, por meio da Equação 5 e Equação 9, é possível calcular o UTL do TOE, para o intervalo de confiança cobrindo 90% da demanda de pedidos com 95% de confiança. Esses valores serão exemplificados na seção 4 deste trabalho, em que são apresentados dados coletados em campo, bem como podem ser consultados no repositório do Github disponibilizado em Casarin (2025).

A escolha do UTL do TOE como base para o cálculo da demanda de funcionários e, posteriormente, para a criação das escalas, é crítica para os resultados obtidos. Isso porque poderiam ser adotados outros fatores, como a média da distribuição, o que tornaria as escalas menos protegidas a variações de demanda. Além disso, para garantir que as escalas geradas pelo modelo atendam a demanda de pedidos esperada para cada período, o número mínimo de funcionários a serem alocados sempre será arredondado para o inteiro superior, conforme será explicado na seção 3.2.

3.2 DEFINIÇÃO DA DEMANDA DE FUNCIONÁRIOS

A partir do UTL do TOE, cujo cálculo foi apresentado na última seção, e de outros fatores específicos de cada unidade, é possível calcular a demanda de funcionários operacionais necessária em cada hora e dia da semana, isto é, a meta mínima de funcionários (MMF) em cada período, conforme Equação 10. Para isso, basta dividir o valor por 60, para a conversão de minutos para horas, e arredondar o valor obtido para o inteiro imediatamente superior, uma vez que a quantidade mínima de funcionários deve ser um valor inteiro. Ao arredondar esse valor para cima, garante-se uma disponibilidade de mão de obra superior à demanda de trabalho calculada previamente.

$$MMF = \frac{UTL(TOE)}{60} \quad (\text{Equação 10})$$

Essa métrica MMF, após ser arredondada, será um dos principais parâmetros do modelo, sendo usado como restrição mínima de funcionários a estarem operando a cada hora do dia, a fim de apoiar a criação das escalas de trabalho. É importante salientar que não há diferenciação de tipos de funcionários na métrica em questão, mas outras restrições podem ser adicionadas ao modelo, como presença mínima de funcionários próprios.

Como foi explicado anteriormente na seção de contextualização da empresa, é necessário haver, em qualquer momento de operação das unidades, a presença de ao menos um funcionário próprio (não diarista), o qual conhece procedimentos de funcionamento interno da unidade, deve zelar pela segurança dos clientes e do prédio e é responsável pela abertura e fechamento da unidade. Essa restrição não é necessária apenas aos domingos, visto que as unidades que empregam funcionários em escala 6x1 podem alocar diaristas fixos (turnos de oito ou doze horas) nesse dia da semana, os quais passam por treinamentos de segurança semelhantes aos funcionários próprios. Essa restrição também será usada como condição para a solução encontrada pelo modelo. No caso de a meta dos funcionários ser igual a zero em algum momento, isto é, se não houve pedidos no período na unidade em questão, ainda assim haverá a restrição de haver um funcionário próprio para esses horários, considerando o período em que as unidades estão em operação (entre oito horas da manhã e meia noite).

Todas essas restrições serão definidas com maior rigor na seção 5 deste trabalho, em que é explicado o modelo operacional aplicado para a obtenção da solução final.

4 DADOS COLETADOS EM CAMPO

A seguir são apresentados os dados de custos atuais de equipes, limite superior do tempo de operação efetiva (UTL do TOE) e meta mínima de funcionários, para cada unidade.

4.1 DADOS DE EQUIPE E CUSTOS POR UNIDADE

Para a criação e posterior avaliação do modelo a ser desenvolvido, além da meta mínima de funcionários por hora e dia da semana nas unidades analisadas (cujo cálculo é apresentado na Equação 10), também é necessário dados reais coletados em campo da escala de julho de 2025 dessas unidades, isto é, quantidade e custo de funcionários e diaristas em cada regime de trabalho, a fim de permitir a comparação entre os resultados obtidos pelo modelo e o cenário atual. A Tabela 2, abaixo, apresenta, para as unidades analisadas neste trabalho, a equipe de funcionários próprios, distribuídos entre os dois tipos de escalas de trabalho possíveis para funcionários próprios (não diaristas). Esses valores são referentes ao mês de julho de 2025.

Tabela 2 - *Equipe de funcionários por unidade em Julho de 2025*

Unidade	Funcionários 6x1	Funcionários 12x36	Total Funcionários
Vargas	2	0	2
Borba	2	0	2
Batista	2	2	4
Acre	2	2	4
Abelardo	2	0	2
Botafogo	4	2	6
Camerino	2	0	2
Total	16	6	22

Fonte: Empresa de dark kitchens

A partir da Tabela 1 e Tabela 2, é possível calcular os custos totais com a mão de obra operacional em cada unidade, multiplicando a quantidade de funcionários próprios pelo valor mensal correspondente de cada funcionário (esse custo é igual para as escalas 6x1 ou 12x36) e somando o custo total de diaristas por unidade. Vale ressaltar que o custo mensal dos diaristas é proporcional a quantidade de horas totais trabalhadas no mês para cada unidade, o que pode gerar valores fracionários. No caso da equipe contratada, esses valores sempre serão múltiplos do custo unitário de cada funcionário, isto é, R\$4.500. Além disso, não é possível definir o

número de diaristas em cada unidade, visto que esse valor é variável ao longo dos meses, considerando que os diaristas podem trabalhar em diversas unidades, porém não são obrigados a cumprir jornadas em nenhuma delas. Dessa forma, o único dado relevante referente aos diaristas é o custo por unidade. Os dados apresentados na Tabela 3 serão utilizados posteriormente para avaliar a solução proposta pelo modelo para o mês de julho de 2025, em termos de custos, em relação ao cenário real do mesmo mês para cada unidade.

Tabela 3 - Custos de equipe operacional por unidade em reais

Unidade	Custo Funcionários	Custo Diaristas	Custo Total
Vargas	9.000	3.258	12.258
Borba	9.000	1.345	10.345
Batista	18.000	2.748	20.748
Acre	18.000	4.841	22.841
Abelardo	9.000	1.633	10.633
Botafogo	27.000	2.880	29.880
Camerino	9.000	1.206	10.206
Total	99.000	17.911	116.911

Fonte: Empresa de dark kitchens

4.2 DADOS DO LIMITE SUPERIOR DO TEMPO DE OPERAÇÃO EFETIVA (UTL do TOE)

Como foi explicado anteriormente nas seções de introdução e metodologia, os dados de limite superior do intervalo de tolerância do TOE são fundamentais para estimar a demanda esperada de trabalho dos funcionários, já que a última é diretamente proporcional à primeira, conforme Equação 10. Como os modelos de *Retail* e de cozinhas possuem demandas de tempo diferentes para cada pedido, se faz necessário obter o UTL do TOE da soma ponderada de cada tipo em uma unidade específica, a fim de estimar a demanda necessária de tempo de trabalho para cada hora e dia da semana.

A Tabela 4, a seguir, apresenta os dados de UTL do TOE em minutos na unidade Vargas, a qual será usada como referência para detalhamento e exemplificação da metodologia e dos resultados iniciais. Vale ressaltar que algumas unidades não apresentam o modelo de *Retail*, apenas de cozinhas comuns, como é o caso das unidades Abelardo e Borba. Para estes casos, basta a aplicação direta do conceito de limite superior na tabela de pedidos de cozinhas comuns da unidade.

Tabela 4 - UTL do TOE na unidade Vargas (1)

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	2,0	2,0	2,0	3,0	0,0	0,0	0,0
11	6,6	14,4	16,4	17,6	20,6	6,6	11,6
12	9,0	22,4	18,8	20,4	29,6	17,0	21,0
13	11,0	20,8	24,0	23,2	29,0	22,6	23,6
14	8,0	20,8	20,0	17,6	21,0	19,6	23,0
15	10,0	14,8	13,2	19,6	22,6	20,6	25,0
16	7,0	10,0	17,2	18,0	20,0	28,6	19,6
17	11,6	29,2	28,4	28,4	51,0	45,6	58,0
18	44,6	62,0	85,2	82,4	146,0	108,6	120,6
19	59,4	86,4	116,4	112,2	175,6	144,8	140,6
20	59,0	80,4	110,0	108,8	174,1	142,6	142,8
21	53,6	74,4	55,2	76,0	140,6	119,0	103,0
22	31,6	48,0	39,2	42,4	58,9	54,5	50,0
23	3,0	5,0	4,0	5,6	12,0	2,6	4,0

(1) O limite superior cobre 90% da demanda de pedidos, com confiança de 95%

Fonte: Empresa de dark kitchens e dados do estudo

A partir dos dados da Tabela 4, basta converter esse valor em horas, dividindo-o por 60 (Equação 10), e aproximá-lo para o inteiro superior, gerando os dados de meta mínima de funcionários, que serão apresentados na seção a seguir. Por ser um parâmetro importante para a criação da restrição de número mínimo de funcionários, a relação deste dado para as demais unidades pode ser encontrada na seção de apêndices, ao final do trabalho (apêndices 1 a 7).

4.3 DADOS DE META MÍNIMA DE FUNCIONÁRIOS POR UNIDADE

Na Tabela 5 a seguir, é apresentada a meta mínima de funcionários em cada hora e dia da semana na mesma unidade Vargas, cujo cálculo foi realizado com base na Tabela 4 apresentada anteriormente. Esses dados foram calculados para cada unidade e são fundamentais para o desenvolvimento do modelo, sendo um dos parâmetros utilizados. A restrição relacionada a esse parâmetro é que a quantidade de funcionários em cada hora e dia da semana deve ser maior ou igual à meta mínima de funcionários correspondente. Dessa forma, assegura-se que a equipe final será sempre capaz de atender a demanda de pedidos esperada durante todo o período de operação das unidades.

Tabela 5 - *Meta mínima de funcionários na unidade Vargas*

Horário	Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1
18	2	1	1	2	2	3	2
19	2	1	1	2	2	3	2
20	2	1	1	2	2	3	2
21	2	1	1	1	1	2	2
22	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: Empresa de dark kitchens e dados do estudo

Por ser um parâmetro importante para o desenvolvimento do modelo utilizado neste trabalho, a relação deste dado para as demais unidades pode ser encontrada na seção de apêndices, ao final do trabalho (apêndices 8 a 14). Além disso, como explicado na seção de metodologia, há uma restrição adicional para todas as unidades, isto é, a presença de ao menos um funcionário próprio durante todo o período de operação da unidade, exceto aos domingos, em que pode haver diaristas fixos com turno de ao menos oito horas. Essa restrição é apresentada a seguir na Tabela 6.

Tabela 6 - *Restrição mínima de funcionários próprios (para todas as unidades)*

Horário	Domingo(1)	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1

(1) Aos domingos, diaristas de ao menos oito horas também cumprem esse requisito

Fonte: Empresa de dark kitchens e dados do estudo

5 MODELO APLICADO

Para aplicação do modelo, foi utilizada a extensão *OpenSolver* do Google Sheets, sendo uma ferramenta acessível (sem custos) para resolução de problemas de otimização. As restrições do modelo, as variáveis de decisão e a função objetivo serão apresentadas a seguir. Os parâmetros globais utilizados foram o custo unitário de cada tipo de funcionário, presentes na Tabela 1. Esses dados foram usados para calcular os custos totais relacionados a cada tipo de regime de trabalho, considerando custo unitário e número de funcionários em cada escala. A partir desses dados, para cada unidade foi possível calcular o custo atual de cada equipe e o custo das equipes geradas pelo modelo, sendo a última utilizada como função objetivo, a qual deve ser minimizada (a solução mais econômica deve ser priorizada). Na seção de análise de resultados, os custos atuais serão comparados com os custos das soluções oferecidas pelo modelo, a fim de avaliar variações. Os parâmetros específicos de cada unidade, os quais de fato são usados como restrições do modelo, foram os valores de meta mínima de funcionários, calculados a partir da Equação 10 e exemplificados para uma unidade específica na Tabela 5, e o mínimo de funcionários próprios, mostrados na Tabela 6. As variáveis de decisão são o número de funcionários que iniciam sua jornada em cada horário de cada dia da semana. Algumas restrições para as variáveis de decisão são:

- A. Funcionários próprios com jornada de trabalho 6x1 não trabalham aos domingos.
- B. Cada funcionário próprio, com jornada de trabalho 6x1 ou 12x36, sempre iniciam e terminam seus turnos no mesmo horário a cada dia, independente do dia da semana.
- C. Todos os trabalhadores (funcionários ou diaristas) devem cumprir suas jornadas diárias dentro do horário limite de funcionamento da unidade (entre oito horas da manhã e meia noite).
- D. Funcionários com jornada 6x1 podem ter variáveis de decisão de entrada apenas para segunda-feira, visto que cumprem a mesma jornada toda semana, entrando entre oito horas da manhã e 16 horas (horário limite para que o funcionário cumpra sua jornada de trabalho dentro do período operacional da unidade).
- E. Funcionários com jornada 12x36 podem ter variáveis de decisão de entrada apenas para segunda-feira ou terça-feira, visto que seu ciclo de trabalho é de duas semanas (como esse funcionário trabalha e folga em dias intercalados, se ele trabalha

na primeira segunda-feira do mês, ele vai folgar na segunda-feira sucessiva). Funcionários dessa jornada podem entrar entre oito horas da manhã e 12 horas.

F. Diaristas com turnos de quatro horas de duração podem ter variáveis de decisão de entrada para qualquer dia da semana, entrando entre oito horas da manhã e 20 horas.

G. Diaristas com turnos de oito horas de duração podem ter variáveis de decisão de entrada para qualquer dia da semana, entrando entre oito horas da manhã e 16 horas.

H. Diaristas com turnos de 12 horas de duração podem ter variáveis de decisão de entrada para qualquer dia da semana, entrando entre oito horas da manhã e 12 horas.

A Tabela 7, a seguir, compila as variáveis de decisão usadas no modelo. As células cinzas não são campos de decisão, conforme explicado anteriormente nos pontos “D” e “E” das restrições de entrada, sendo possível o preenchimento apenas das demais células com valores inteiros maiores ou iguais a zero. O fato de os horários de entrada de cada tipo de trabalhador terem janelas diferentes é explicado pelo ponto “C”.

Tabela 7 - Variáveis de decisão (entrada de funcionários)

Jornada	Variáveis de Decisão							
	Horário	Seg	Terça	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom
6x1	8:00							
	9:00							
	10:00							
	11:00							
	12:00							
	13:00							
	14:00							
	15:00							
12x36	8:00							
	9:00							
	10:00							
	11:00							
	12:00							
	8:00							
	9:00							

Diaristas 4h	10:00							
	11:00							
	12:00							
	13:00							
	14:00							
	15:00							
	16:00							
	17:00							
	18:00							
	19:00							
	20:00							
Diaristas 8h	8:00							
	9:00							
	10:00							
	11:00							
	12:00							
	13:00							
	14:00							
	15:00							
Diaristas 12h	8:00							
	9:00							
	10:00							
	11:00							
	12:00							

Fonte: Modelo do estudo

Após essa introdução das variáveis de decisão, função objetivo e restrições do modelo, é possível definir formalmente cada um deles separadamente.

5.1 CONJUNTOS E ÍNDICES

- D: conjunto de dias da semana, $D=\{\text{Seg, Ter, Qua, Qui, Sex, Sáb, Dom}\}$
- T: conjunto de horários discretizados do dia (por exemplo, $T=\{8:00, 9:00, \dots, 23:00\}$)

- K : conjunto de tipos de jornada/contrato:
 - $k \in K^p$: funcionários próprios (6x1 ou 12x36);
 - $k \in K^{D4}$: diaristas de 4 horas;
 - $k \in K^{D8}$: diaristas de 8 horas;
 - $k \in K^{D12}$: diaristas de 12 horas;

Para simplificar a notação, denota-se por K o conjunto de todos os tipos de jornada, isto é:

$$K = K^p \cup K^{D4} \cup K^{D8} \cup K^{D12}$$

5.2 PARÂMETROS

O horizonte de planejamento considerado são duas semanas típicas (segunda a domingo), visto que o maior ciclo de trabalho é o de funcionários 12x36, que são exatamente duas semanas. Os custos dos diaristas são definidos por turno (R\$90 para 4h, R\$120 para 8h, R\$180 para 12h), de modo que a função objetivo calculará diretamente o custo semanal associado a todos os turnos escalados. Para os funcionários próprios (regimes 6x1 e 12x36), o custo informado é mensal (R\$4.500/mês). Para tornar os custos comparáveis no modelo semanal, convertemos o custo mensal em um custo equivalente semanal dividindo por um fator aproximado de 4,25 semanas por mês. Assim, a função objetivo passa a representar o custo total semanal da escala. Assim, pode-se definir formalmente os custos unitários C_k associados a cada funcionário de cada tipo de jornada $k \in K$:

- c_k : custo unitário associado a um funcionário do tipo de jornada $k \in K$
 - Funcionário próprio 6x1 (semanal): $c_{6x1}^{sem} \approx 1.058,82$ (R\$/semana)
 - Funcionário próprio 12x36 (semanal): $c_{12x36}^{sem} \approx 1.058,82$ (R\$/semana)
 - Diarista de 4 horas: $c_{D4} = 90$ (R\$/turno)
 - Diarista de 8 horas: $c_{D8} = 120$ (R\$/turno)
 - Diarista de 12 horas: $c_{D12} = 180$ (R\$/turno)
- $m_{t,d}$: demanda mínima de funcionários (de qualquer tipo) requerida no horário $t \in T$ do dia $d \in D$. Esses valores podem ser encontrados nos apêndices 8 a 14, e são exemplificados na Tabela 5.

- $a_{k,h,t}$: parâmetro de cobertura de jornada, definido como:
 - $a_{k,h,t} = 1$, se um funcionário do tipo k que inicia o turno no horário h está efetivamente trabalhando no horário t ;
 - $a_{k,h,t} = 0$, caso contrário.

Esse último parâmetro representa a relação entre o horário de início de cada jornada e os horários cobertos por essa jornada (por exemplo, uma diarista 4h que inicia às 17h00 cobre os horários 17h00–20h59).

5.3 VARIÁVEIS DE DECISÃO

As variáveis de decisão representam a quantidade de funcionários que iniciam seus turnos em cada combinação de tipo de contrato, horário e dia da semana.

- $x_{k,h,d}$: número de funcionários do tipo de jornada $k \in K$ que iniciam seu turno no horário $h \in T$ do dia $d \in D$.

Essas variáveis correspondem, na prática, às células da Tabela 7: para cada linha (tipo de jornada e horário de início) e para cada coluna de dia da semana, $x_{k,h,d}$ indica quantos funcionários têm aquele padrão de início de turno.

5.4 FUNÇÃO OBJETIVO

O objetivo do modelo é minimizar o custo total semanal da escala de funcionários, somando o custo associado a cada funcionário contratado ou escalado, de acordo com seu tipo de contrato, conforme Equação 11 abaixo:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{k \in K} \sum_{h \in T} \sum_{d \in D} c_k x_{k,h,d} \quad (\text{Equação 11})$$

A Equação 11 agrega o custo semanal dos funcionários próprios e o custo por turno dos diaristas, ponderado pela quantidade de funcionários iniciando seus turnos em cada combinação (k,h,d) . O custo mensal estimado pode ser obtido multiplicando-se o resultado semanal por 4,25, sem impacto sobre a solução ótima do problema, uma vez que a multiplicação por constante positiva não altera o ponto ótimo em um problema de programação linear.

5.5 RESTRIÇÕES

As restrições do modelo são a cobertura mínima de funcionários em cada horário e dia da semana, bem como o mínimo de funcionários próprios ao longo da semana, com exceção dos domingos, que também podem ter diaristas de oito ou doze horas para cumprir esse requisito. Além disso, as variáveis devem ser inteiras e não negativas (por se tratar de funcionários). Cada uma das restrições estão formalmente descritas a seguir.

5.5.1 COBERTURA MÍNIMA DE FUNCIONÁRIOS POR HORÁRIO

Para cada horário $t \in T$ e cada dia $d \in D$, o total de funcionários presentes em operação deve ser maior ou igual à demanda mínima $m_{t,d}$. Como $x_{k,h,d}$ representa os funcionários que iniciam no horário h , utiliza-se o parâmetro $a_{k,h,t}$ para mapear quais combinações (k,h) efetivamente cobrem o horário t , conforme Equação 12 abaixo:

$$\sum_{k \in K} \sum_{h \in T} a_{k,h,t} x_{k,h,d} \geq m_{t,d}, \quad \forall t \in T, \forall d \in D \quad (\text{Equação 12})$$

Essa restrição garante que, em cada intervalo de tempo e em cada dia da semana, a escala atenda, no mínimo, à meta de funcionários estabelecida.

5.5.2 MÍNIMO DE FUNCIONÁRIOS PRÓPRIOS (SEGUNDA A SÁBADO)

Durante os dias úteis e sábado, exige-se que, em cada horário, haja pelo menos um funcionário próprio (ou seja, contratado sob regime 6x1 ou 12x36) presente na operação. Seja $D^{SEG-SAB} = \{Seg, Ter, Qua, Qui, Sex, Sáb\}$, a restrição pode ser definida pela Equação 13:

$$\sum_{k \in K^p} \sum_{h \in T} a_{k,h,t} x_{k,h,d} \geq 1, \quad \forall t \in T, \forall d \in D^{SEG-SAB} \quad (\text{Equação 13})$$

Na prática, essa condição tem a mesma estrutura da tabela de meta mínima de funcionários, mas com valor mínimo igual a 1 e considerando apenas os tipos de jornada relativos a funcionários próprios.

5.5.3 CONDIÇÃO DE DOMINGO: FUNCIONÁRIO PRÓPRIO OU DIARISTAS

No domingo, a política da empresa permite que a exigência mínima seja atendida por, ao menos, um funcionário próprio ou um diarista de 8h ou 12h. Seja $D^{DOM} = \{DOM\}$ e $K^{DOM} = K^P \cup K^{D8} \cup K^{D12}$ o conjunto de tipos de jornada que podem cumprir esse requisito. A restrição pode ser escrita como:

$$\sum_{k \in K^{DOM}} \sum_{h \in T} a_{k,h,t} x_{k,h,d} \geq 1, \quad \forall t \in T, \forall d \in D^{DOM} \quad (\text{Equação 14})$$

A Equação 14 descreve a condição que garante que, aos domingos, haja sempre pelo menos um funcionário de vínculo mais “estruturado” (próprio ou diarista de longa jornada) cobrindo cada horário, mesmo que parte da demanda total seja atendida por diaristas de 4 horas.

5.5.4 DOMÍNIO DAS VARIÁVEIS

Por fim, as variáveis de decisão são inteiras e não negativas, pois representam quantidade de funcionários, conforme Equação 15 a seguir:

$$x_{k,h,d} \in \mathbb{Z}_+, \quad \forall k \in K, \forall h \in T, \forall d \in D \quad (\text{Equação 15})$$

6 RESULTADOS

Após aplicação do modelo descrito na seção 5 deste trabalho, a partir dos dados coletados em campo e respeitando a metodologia descrita anteriormente, foram obtidos os resultados finais para cada uma das unidades apresentadas. Os resultados serão apresentados de três formas diferentes, sendo elas:

- As variáveis de decisão otimizadas obtidas pelo modelo, conforme Tabela 8.
- O número de trabalhadores de cada regime em cada unidade.
- O custo final das escalas produzidas pelo modelo, o qual será comparado com os valores atuais do mês de julho de 2025.

Para a unidade Vargas, cujos dados foram apresentados com maiores detalhes no decorrer deste trabalho, as variáveis de decisão obtidas pelo modelo são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Variáveis de decisão otimizadas na unidade Vargas

Jornada	Variáveis de Decisão							
	Horário	Seg	Terça	Qua	Qui	Sext	Sáb	Dom
6x1	8:00	1	0	0	0	0	0	0
	9:00	0	0	0	0	0	0	0
	10:00	0	0	0	0	0	0	0
	11:00	0	0	0	0	0	0	0
	12:00	0	0	0	0	0	0	0
	13:00	0	0	0	0	0	0	0
	14:00	0	0	0	0	0	0	0
	15:00	0	0	0	0	0	0	0
	16:00	1	0	0	0	0	0	0
12x36	8:00	0	0	0	0	0	0	0
	9:00	0	0	0	0	0	0	0
	10:00	0	0	0	0	0	0	0
	11:00	0	0	0	0	0	0	0
	12:00	0	0	0	0	0	0	0
Diaristas 4h	8:00	0	0	0	0	0	0	0
	9:00	0	0	0	0	0	0	0
	10:00	0	0	0	0	0	0	0
	11:00	0	0	0	0	0	0	0
	12:00	0	0	0	0	0	0	0
	13:00	0	0	0	0	0	0	0
	14:00	0	0	0	0	0	0	0
	15:00	0	0	0	0	0	0	0

	16:00	0	0	0	0	0	0	0
	17:00	0	0	0	0	0	1	1
	18:00	0	1	1	1	2	1	1
	19:00	0	0	0	0	0	0	0
	20:00	0	0	0	0	0	0	0
Diaristas 8h	8:00	0	0	0	0	0	0	1
	9:00	0	0	0	0	0	0	0
	10:00	0	0	0	0	0	0	0
	11:00	0	0	0	0	0	0	0
	12:00	0	0	0	0	0	0	0
	13:00	0	0	0	0	0	0	0
	14:00	0	0	0	0	0	0	0
	15:00	0	0	0	0	0	0	0
	16:00	0	0	0	0	0	0	1
Diaristas 12h	8:00	0	0	0	0	0	0	0
	9:00	0	0	0	0	0	0	0
	10:00	0	0	0	0	0	0	0
	11:00	0	0	0	0	0	0	0
	12:00	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Empresa de dark kitchens e dados do estudo

Organizando os resultados obtidos nas variáveis de decisão otimizadas, como na Tabela 8, para todas as unidades analisadas, obtemos a Tabela 9. É importante distinguir os valores de escala 6x1 ou 12x36 obtidos, sendo estes referentes a funcionários próprios, com jornada de trabalho para todo o mês de julho de 2025, enquanto para as demais colunas os valores representam o número total de turnos de diaristas de cada jornada de trabalho específica.

Embora a Tabela 9 não apresente os resultados de forma tão detalhada como a Tabela 8, em que há a distinção de quantidade de funcionários que iniciam seus turnos em cada hora do dia, ela é suficiente para calcular o custo total da escala gerada pelo modelo, uma vez que esse valor depende apenas da quantidade de trabalhadores em cada regime e de seus respectivos custos unitários, conforme Equação 11.

Tabela 9 - Solução do modelo: Trabalhadores em cada regime por unidade

Unidade	Escala 6x1	Escala 12x36	Turnos Diaristas 4h	Turnos Diaristas 8h	Turnos Diaristas 12h
Vargas	2	0	9	2	0
Abelardo	2	0	3	2	0
Acre	2	0	11	2	0
Batista	2	0	13	1	1
Borba	2	0	6	2	0

Botafogo	2	0	16	0	6
Camerino	2	0	0	2	0

Fonte: Empresa de dark kitchens e dados do estudo

Finalmente, combinando os dados da Tabela 9 com o custo unitário de cada funcionário próprio ou de cada turno de diarista, obtemos o custo total mensal das escalas de trabalho produzidas pelo modelo, em cada unidade. Dessa forma, podemos comparar esses valores com os custos atuais dessas unidades para o mês de julho de 2025, conforme dados coletados em campo na Tabela 3. Os resultados podem ser comparados na Tabela 10 abaixo.

Tabela 10 - Comparação dos custos das soluções com os custos atuais por unidade

Unidade	Custo da solução	Custo atual	Variação
Vargas	R\$ 13.463	R\$ 12.258	9,83%
Abelardo	R\$ 11.168	R\$ 10.633	5,03%
Acre	R\$ 14.228	R\$ 22.841	-37,71%
Batista	R\$ 15.248	R\$ 20.748	-26,51%
Borba	R\$ 12.315	R\$ 10.345	19,04%
Botafogo	R\$ 19.710	R\$ 29.880	-34,04%
Camerino	R\$ 10.020	R\$ 10.206	-1,82%
Total	R\$ 96.152	R\$ 116.911	-17,76%

Fonte: Empresa de dark kitchens e dados do estudo

Todos os dados coletados em campo, desde o UTL do TOE e a meta mínima de funcionários, os quais foram utilizados para obter as restrições do modelo, até os resultados obtidos de número de funcionários e custos gerados pelas escalas produzidas pelo modelo, bem como a planilha utilizada para replicabilidade dos resultados, foram armazenados em um repositório no *GitHub* (CASARIN, 2025), uma plataforma online que serve para armazenar, compartilhar e gerenciar código-fonte de projetos. Dessa forma, os resultados podem ser replicados futuramente.

Para replicar este trabalho em outra empresa de dark kitchens, é necessário a obtenção dos dados primários de demanda de pedidos. Se a empresa em questão trabalhar com outros modelos de pedidos, basta adaptar as fórmulas de cálculo do limite superior de demanda para atender o novo cenário. Ainda assim, a metodologia apresentada neste trabalho poderia ser utilizada na área operacional de diversas outras empresas semelhantes, a fim de aumentar a eficiência na criação de escalas de trabalhos para funções operacionais, com base no histórico de demanda recente.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ao analisar a Tabela 10, é possível notar que as escalas geradas pelo modelo proposto neste trabalho reduziram o custo total das escalas em 17,76% no mês de julho de 2025 para as unidades analisadas. Isso representa uma economia de cerca de 20 mil reais, com uma importante melhoria na eficiência operacional, já que, como apresentado na seção de contextualização da empresa, os custos de mão de obra operacional podem representar até 35% da receita mensal gerada pelo aluguel de cozinhas.

De qualquer forma, ainda que haja uma redução de custo total a partir das escalas de trabalho produzidas pelo modelo proposto, a simples adoção de um método de organização operacional baseado em dados na empresa é positivo, pois estimula não só ganhos de eficiência, como reduz o esforço da área de planejamento e controle da produção, especificamente àquela voltada para a organização do trabalho.

Se observarmos os custos dos funcionários, é possível calcular o valor pago por hora de trabalho em cada regime. No caso dos diaristas, basta dividir o valor pago por turno pelo número de horas trabalhadas, enquanto para funcionários próprios foi considerado que um mês tem em média 4,25 semanas (o mesmo valor utilizado para calcular o custo mensal das escalas geradas pelo modelo, com base no custo semanal da função objetivo), a fim de calcular o número de horas trabalhadas por mês, dividindo o valor fixo de R\$4.500 pelo total de horas. A Tabela 11 a seguir mostra o custo por hora estimado de cada regime.

Tabela 11 - Custo por hora de cada regime de trabalho		
Tipo de contrato	Jornada	Custo por hora
Funcionário próprio	6x1 (8 horas diárias)	R\$22,05
	12x36 (12 horas diárias)	R\$25,21
Diarista	4 horas	R\$22,50
	8 horas	R\$15,00
	12 horas	R\$15,00

Fonte: Empresa de dark kitchens

Observa-se que os diaristas têm um custo menor por hora trabalhada, o que muitas vezes é comum para cargos operacionais simples (CHOI et al., 2021), com exceção do diarista de quatro horas, que ainda sim possui a maior alocação (conforme Tabela 9), dada a sua flexibilidade para cobrir horários de pico sem gerar ociosidade nos horários adjacentes. Além disso, segundo a Tabela 9, não houve nenhuma alocação de funcionários próprios em escala 12x36, o que pode ser explicado pelo fato de dois funcionários 6x1 serem suficientes para

atender a restrição de mínimo de funcionários próprios, além do fato de a jornada de trabalho 12x36 ter o maior custo por hora estimado.

É importante também analisar a variação de custo gerada pelas escalas produzidas pelo modelo em cada unidade, buscando entender essas variações. Com exceção da unidade Camerino, que manteve custos relativamente semelhantes aos atuais, as demais unidades apresentaram variações consideráveis de custo para mais ou menos. Nesse aspecto, fica evidente que unidades com maior demanda de pedidos, e consequentemente com maiores custos operacionais reais, como é o caso de Acre, Batista e Botafogo, tiveram reduções de custo significativas para as soluções apresentadas pelo modelo, enquanto as soluções para as unidades de menor demanda apresentaram um pequeno aumento no valor das escalas. É possível notar, nos apêndices 3, 4 e 6, que essas unidades têm maior demanda por tempo de trabalho.

Esse padrão demonstra que unidades com maior demanda possuem muitos funcionários próprios alocados, a fim de atender horários de pico, como almoço e jantar. Entretanto, por terem jornadas longas, esses funcionários podem ficar ociosos nos demais horários, além de terem um custo maior, o que aumenta as despesas operacionais dessas unidades. Em contrapartida, o modelo alocou mais diaristas, os quais são capazes de cobrir horários de pico com menor ociosidade nos demais períodos do dia, sobretudo os diaristas de quatro horas, que aparecem em maior número. Essas mudanças foram capazes de reduzir substancialmente o custo dessas unidades.

Já para o caso de unidades com histórico de menor demanda de pedidos, como Abelardo, Borba e Vargas, o modelo gerou a mesma quantidade mínima de funcionários próprios (necessário para atender as restrições apresentadas anteriormente), o que impossibilitou as mesmas reduções de custos das demais unidades. Além disso, houve um gasto superior com diaristas, o que acarretou em um custo mensal final superior ao custo atual para o mês de julho de 2025. Isso demonstra uma sobrecarga de trabalho nessas unidades, principalmente em horários de pico, em que mais diaristas foram alocados.

Ainda segundo Choi et al. (2021), é preciso porém ter atenção quanto à alocação de muitos diaristas, devido a restrições trabalhistas. Segundo o autor, é necessário evitar alocar o mesmo diarista por muitos dias consecutivos, o que pode configurar vínculo trabalhista. Dessa forma, a empresa deve estar atenta para evitar problemas legais, os quais não foram abordados no escopo deste trabalho, mas necessitam atenção. Caso a empresa julgue perigoso alocar muitos diaristas, devido a possibilidade de criação de vínculo trabalhistas, e consequentemente a geração de riscos legais para a companhia, essa restrição de mínimo de

funcionários próprios pode ser expandida, cenário em que haveria menor alocação de diaristas.

8 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que a aplicação de métodos de otimização baseados em dados para a criação de escalas de trabalho em dark kitchens é não apenas viável, mas também capaz de gerar ganhos substanciais em eficiência e redução de custos, mesmo quando implementado em um ambiente real, marcado por alta variabilidade de demanda e múltiplos tipos de contratos de trabalho. Ao estruturar o problema com base no limite superior de tolerância do tempo de operação efetiva (UTL do TOE), foi possível traduzir o comportamento estatístico do histórico de pedidos em metas concretas de dimensionamento de equipe, alinhando rigor analítico, simplicidade operacional e aderência ao contexto de negócio. A partir desse fundamento, o modelo foi capaz de gerar escalas que respeitam todas as restrições da empresa, incluindo presença contínua de funcionários próprios, cobertura mínima por intervalo e jornadas diferenciadas, ao mesmo tempo em que minimizam o custo total da força de trabalho.

Os resultados obtidos evidenciam que o modelo cumpre seu objetivo central. Ao comparar a escala atual da empresa com aquela proposta pela solução ótima, verificou-se uma redução total de aproximadamente R\$ 20 mil ou 17,75% do custo mensal, para o conjunto de unidades analisadas. Esse montante é expressivo para o lucro da empresa, já que a mão de obra operacional representa 35% da receita e, portanto, a eficiência na alocação de pessoal tem impacto direto na margem financeira. Com base nesses dados, o aumento do lucro da empresa é estimado em 9,55% com a adoção do novo modelo de escalas. O desempenho do modelo também se mostrou coerente com os padrões operacionais observados: unidades com maior histórico de demanda apresentaram reduções substanciais, indicando que possuíam superalocação ou uso ineficiente de funcionários próprios, enquanto unidades com demanda menor tiveram aumento de custo, sugerindo sobrecarga da equipe atual e menor flexibilidade para redistribuição das jornadas.

Outro achado relevante é a clara preferência do modelo por diaristas de 4 horas, reforçando seu papel como mecanismo eficiente para suavizar picos de demanda sem gerar custos desnecessários nos períodos de baixa. Por outro lado, a escolha recorrente por apenas dois funcionários próprios em regime 6x1 e a ausência de contratações no regime 12x36 refletem o custo-hora superior dessas modalidades, além da rigidez que jornadas longas introduzem em ambientes cujo volume oscila significativamente ao longo do dia. Esses resultados não apenas oferecem economia imediata, mas também revelam padrões que podem orientar decisões estruturais da empresa, como redefinição de políticas de contratação, revisão

das proporções entre regimes e eventual reconfiguração das responsabilidades atribuídas aos funcionários próprios.

Ainda assim, a análise também evidencia pontos de atenção que devem ser considerados antes da adoção integral do modelo. A elevada presença de diaristas, embora econômica, acarreta riscos trabalhistas associados à caracterização de vínculo empregatício, especialmente quando há recorrência de convocações para os mesmos indivíduos. Esse aspecto não foi modelado no trabalho, mas surge como recomendação importante para ajustes futuros: incluir restrições de rotatividade mínima de diaristas, limites semanais de convocações ou mesmo políticas internas mais rígidas de equilíbrio entre funcionários próprios e temporários. Dessa forma, a solução se torna mais robusta e melhor alinhada ao sistema legal brasileiro.

Mais amplamente, este trabalho mostra que a utilização de dados históricos, quando organizados de forma consistente e processados com técnicas estatísticas adequadas, permite transformar um processo tradicionalmente manual, empírico e sujeito a distorções em uma rotina de tomada de decisão replicável, transparente e alinhada às melhores práticas da engenharia de produção. A combinação entre métricas estatísticas, modelagem matemática e ferramentas acessíveis como o OpenSolver demonstra que a adoção de metodologias quantitativas não depende necessariamente de softwares proprietários ou ambientes de programação complexos. Essa acessibilidade facilita a implementação prática na empresa, sem exigir mudanças estruturais profundas e permitindo que o método seja incorporado ao fluxo operacional da área de planejamento de maneira simples.

Além disso, o modelo desenvolvido possui potencial de generalização para outras unidades, meses ou mesmo para empresas distintas. Como o cálculo do UTL do TOE é parametrizável e depende apenas do histórico de pedidos, basta ajustar o período analisado e recalcular as metas mínimas de funcionários para gerar novas escalas. O repositório disponibilizado no GitHub amplia essa replicabilidade, garantindo documentação completa, transparência metodológica e condições para auditoria, reexecução ou expansão futura. Assim, a empresa ganha não apenas uma solução pontual, mas um processo estruturado capaz de evoluir conforme sua operação cresce ou suas cozinhas mudam de perfil.

Em síntese, este trabalho alcança os objetivos propostos ao demonstrar que a otimização das escalas de trabalho em dark kitchens pode ser conduzida com precisão, economia e fundamentação metodológica sólida. A utilização do UTL do TOE como métrica central permitiu transformar incerteza operacional em parâmetros quantificáveis, garantindo uma proteção estatisticamente embasada contra picos de demanda. A aplicação de

programação linear inteira possibilitou combinar tais parâmetros com as regras operacionais da empresa, resultando em uma escala realista e economicamente vantajosa. Finalmente, a comparação entre os custos atuais e os custos ótimos reforça a relevância prática da otimização na gestão de escalas de trabalho.

Como implicação final, este estudo contribui não apenas para a organização analisada, mas também para o campo da engenharia de produção voltado ao setor de entrega de pedidos. Ele mostra que, mesmo em ambientes com elevada volatilidade e forte componente humano, a modelagem matemática oferece instrumentos robustos para reduzir custos, melhorar o nível de serviço e fomentar uma cultura organizacional orientada por dados, tomada de decisão estruturada e melhoria contínua.

9 REFERÊNCIAS

- AFSHAR-NADJAFI, B. Multi-skilling in scheduling problems: A review on models, methods and applications. *Computers & Industrial Engineering*, v. 151, 107004, 2021. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835220306744>
- AGGARWAL D., SAXENA D.K., BÄCK T., EMMERICH M. “Real-World Airline Crew Pairing Optimization: Customized Genetic Algorithm Versus Column Generation Method”. (2023) DOI: 10.1007/978-3-031-27250-9_37
https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85151057667&doi=10.1007%2f978-3-031-27250-9_37&partnerID=40&md5=bd815dacao08cc191139fbdecbe843e7
- AHN J. “Understanding food delivery service customers’ switching behavior” (2025) DOI: 10.1108/JHTT-02-2024-0124
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85200354358&doi=10.1108%2fJHTT-02-2024-0124&partnerID=40&md5=8da9a7972d7a5ec32d50358b69febe7a>
- ANTUNES D., VAZE V., ANTUNES A.P. “A robust pairing model for airline crew scheduling” (2019) DOI: 10.1287/trsc.2019.0897
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85077466623&doi=10.1287%2ftrsc.2019.0897&partnerID=40&md5=74b9684f4886884aab3761c51b06e29e>
- BÜRGY R., MICHON-LACAZE H., DESAULNIERS G. “Employee scheduling with short demand perturbations and extensible shifts” (2019) DOI: 10.1016/j.omega.2018.10.009
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85055264560&doi=10.1016%2fj.omega.2018.10.009&partnerID=40&md5=74d230636520bcb1bc79a10da72a7e70>
- CASARIN A. K., *Repositório de Código – Work shifts*. GitHub, 2025. Disponível em:
https://github.com/Alechande/Work_shifts
- CHOI K., CHOE C., LEE D., “The Effect of Employing Temporary Workers on Efficiency: Evidence From a Meta-Frontier Analysis” (2021) DOI: 10.1177/21582440211058199
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85119188592&doi=10.1177%2f21582440211058199&partnerID=40&md5=4826c25759b25da2cf9dc41c71b49bd9>
- DAI, T. *et al.* Multi-Stove Scheduling for Sustainable On-Demand Food Preparation. *Sustainability*, v. 13, n. 23, 13133, 2021. Disponível em:
<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/23/13133>
- DASOVIĆ B., KLANŠEK, U. “Comparison of spreadsheet-based optimization tools applied to construction site layout problem” (2021) DOI: 10.1088/1757-899X/1209/1/012010
https://www.researchgate.net/publication/357238630_Comparison_of_spreadsheet-based_optimization_tools_applied_to_construction_site_layout_problem

DEFRAEYE, M.; VAN NIEUWENHUYSE, I. Staffing and scheduling under nonstationary demand for service: A literature review. *Omega*, v. 58, p. 4–25, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.04.002>

ERNST, A. T. *et al.* Staff scheduling and rostering: a review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research*, v. 153, n. 1, p. 3–27, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037722170300095X>.

FORBES 23/05/2025. “IA e Delivery: Chegada da Chinesa Keeta e Parceria entre iFood e Uber Mudam o Cenário”. Leia mais em: <https://forbes.com.br/forbes-tech/2025/05/ia-e-delivery-chegada-da-chinesa-keeta-e-parceria-entre-ifood-e-uber-muda-o-cenario/>

GREEN, L. V.; KOLESAR, P. J.; WHITT, W. Coping with time-varying demand when setting staffing requirements for a service system. *Production and Operations Management*, v. 16, n. 1, p. 13–39, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2007.tb00165.x>

GRIFFITHS P., SAVILLE C., JANE E. BALL, JONES J., MONKS T.. “Beyond ratios - flexible and resilient nurse staffing options to deliver cost-effective hospital care and address staff shortages: A simulation and economic modelling study” (2021) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2021.103901>

HAKIM, M. P. *et al.* Exploring dark kitchens in Brazilian urban centres: a study of delivery-only restaurants with food delivery apps. *Food Research International*, v. 171, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996923005148>

HAKIM, M. P. *et al.* What is a dark kitchen? A study of consumers’ perceptions of dark kitchens. *Food Research International*, v. 161, 111768, 2022. Disponível em: https://www.repositorio.unicamp.br/.../Food_Research_International_161_111768.pdf
İŞERI A., GÜNER H., GÜNER A.R. “Pareto-optimal workforce scheduling with worker skills and preferences” (2025) DOI: 10.1007/s12351-025-00903-7
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85218675984&doi=10.1007%2fs12351-025-00903-7&partnerID=40&md5=df05fla810e6ddf271d247a9ef7510a5>

JURAN, J. M.; GODFREY, A. B. (eds.). *Juran’s Quality Handbook: The Complete Guide to Performance Excellence*. 6th ed. New York: McGraw-Hill, 2010. 1,872 p.

KUMAR V., SHARMA S., GARG A. “Challenges and Opportunities of Ghost Kitchens With Reference to Expansions and Expectations” (2025) DOI: 10.4018/979-8-3373-0432-8.ch012
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-105004521097&doi=10.4018%2f979-8-3373-0432-8.ch012&partnerID=40&md5=d96bbef61824a853bf20410dbb16c980>

KUMAR, S.; YADAV, R.; CHAUHAN, V.; KUMAR, A. Revisiting food delivery apps during COVID-19 pandemic: a systematic review. *Journal of Retailing and Consumer*

Services, v. 62, 102595, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969698921001612>

LAHERI Z., FERRIS I., SOON-SINCLAIR J.M. “The rise of dark kitchens: Characteristics and operational challenges” (2025) DOI: 10.1016/j.ijgfs.2025.101142
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85219564828&doi=10.1016%2fj.ijgfs.2025.101142&partnerID=40&md5=4667161fc0bdbd77c369632223b3ceb2>

LITTLE, J. D. C. OR Forum—Little’s Law as Viewed on Its 50th Anniversary.

Operations Research, v. 59, n. 3, p. 536–549, 2011. Disponível em:

<https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/opre.1110.0940>

LU T., ZHENG Z., ZHONG Y. Maximizing the Benefits of an On-Demand Workforce: Fill Rate-Based Allocation and Coordination Mechanisms (2023) DOI: 10.1287/msom.2021.0327
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85179550565&doi=10.1287%2fmsom.2021.0327&partnerID=40&md5=ff3d3ae27b54468698089a000c001811>

MADINGA, N. W.; MSOSA, N.; RUNGANI, E. The new normal: the adoption of food delivery apps. *European Journal of Management Studies*, v. 28, n. 3, p. 175–194, 2023. Disponível em:

<https://www.emerald.com/ejms/article-pdf/28/3/175/164725/ejms-03-2023-0021.pdf>

NERIA, G.; HILDEBRANDT, F. D.; TZUR, M.; ULMER, M. W. The Restaurant Meal Delivery Problem with Ghost Kitchens. *arXiv preprint* arXiv:2408.07417, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2408.07417>

NIELD, L. *et al.* What are ‘dark kitchens’? A consensus definition from public health, policy, practice and academia. *Perspectives in Public Health*, 2025. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/17579139251371997>

NONAKA T., NOBUTOMO T., MIZUYAMA H. “A model of dynamic scheduling of restaurant operations considering the order and timing of serving dishes” (2018) DOI: 10.1007/978-3-319-99704-9_41
https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85053268212&doi=10.1007%2f978-3-319-99704-9_41&partnerID=40&md5=eee475468945b45c4e12adb20a2e7608

ROSS, SHELDON M. *Probabilidade e estatística para engenharia e ciências*. 9. ed.

São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012. Disponível em:

<https://www.pearson.com.br/probabilidade-e-estatistica-para-engenharia-e-ciencias-9-e-dicao-9788543016984.html>

ROY, D.; SARKAR, S.; SRINIVASAN, R. Restaurant analytics: Emerging practice and research opportunities. *Production and Operations Management*, v. 31, n. 12, p. 4970–4988, 2022. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/poms.13809>

SCHROTENBOER A.H., WENNEKER R., URSAVAS E., ZHU S.X. “Reliable reserve-crew scheduling for airlines”. (2023) DOI: 10.1016/j.tre.2023.103283
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85171613726&doi=10.1016%2fj.tre.2023.103283&partnerID=40&md5=2a3a713a5602cc932ee8bda2e5f2b9a8>

SHANKAR, A.; JEBARAJAKIRTHY, C.; NAYAL, P.; MASEEH, H. I.; KUMAR, A.; SIVAPALAN, A. Online food delivery: a systematic synthesis of literature and a framework development. *International Journal of Hospitality Management*, v. 104, 103240, 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278431922001025>

VAN DEN BERGH, J.; BELIËN, J.; DE BRUECKER, P.; DEMEULEMEESTER, E.; DE BOECK, L. Personnel scheduling: a literature review. *European Journal of Operational Research*, v. 226, n. 3, p. 367–385, 2013. Disponível em:

<https://econpapers.repec.org/RePEc:eee:ejores:v:226:y:2013:i:3:p:367-385>

VU O.T.K., DUARTE ALONSO A., TRAN T.D., TRAN L.N. “Learning-to-thrive in the dark kitchen environment: An organisational learning theory perspective” (2024) DOI: 10.1016/j.ijgfs.2024.101031

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85206138648&doi=10.1016%2fj.ijgfs.2024.101031&partnerID=40&md5=b8090197e37afe4898a9e291a5544e8a>

XU Y., WANDELT S., SUN X. “Airline scheduling optimization: Literature review and a discussion of modelling methodologies”. (2024) DOI: 10.1093/iti/liad026.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85198932609&doi=10.1093%2fiti%2fliad026&partnerID=40&md5=87958bf95d7d747019d4d4c692f247db>

ZEIGHAMI V., SOUMIS F. “Combining benders' decomposition and column generation for integrated crew pairing and personalized crew assignment problems” (2019) DOI: 10.1287/trsc.2019.0892

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85076828086&doi=10.1287%2ftrsc.2019.0892&partnerID=40&md5=6c7bbcccdcf4bd5ac54aa626173221ca>

10 APÊNDICES

APÊNDICE 1 - UTL do TOE unidade Vargas

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	2,0	2,0	2,0	3,0	0,0	0,0	0,0
11	6,6	14,4	16,4	17,6	20,6	6,6	11,6
12	9,0	22,4	18,8	20,4	29,6	17,0	21,0
13	11,0	20,8	24,0	23,2	29,0	22,6	23,6
14	8,0	20,8	20,0	17,6	21,0	19,6	23,0
15	10,0	14,8	13,2	19,6	22,6	20,6	25,0
16	7,0	10,0	17,2	18,0	20,0	28,6	19,6
17	11,6	29,2	28,4	28,4	51,0	45,6	58,0
18	44,6	62,0	85,2	82,4	146,0	108,6	120,6
19	59,4	86,4	116,4	112,2	175,6	144,8	140,6
20	59,0	80,4	110,0	108,8	174,1	142,6	142,8
21	53,6	74,4	55,2	76,0	140,6	119,0	103,0
22	31,6	48,0	39,2	42,4	58,9	54,5	50,0
23	3,0	5,0	4,0	5,6	12,0	2,6	4,0

APÊNDICE 2 - UTL do TOE unidade Abelardo

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	2,0	4,6	4,6	4,6	7,0	3,0	6,0
12	4,0	8,6	5,6	3,6	15,0	2,6	8,6
13	4,0	4,0	5,6	6,0	14,6	4,0	4,6
14	8,0	4,6	3,6	7,6	14,6	3,6	10,6
15	6,0	4,0	6,0	8,0	9,6	3,6	9,0

16	7,6	7,6	7,2	14,4	11,0	6,6	11,0
17	9,0	8,8	14,8	12,0	28,0	14,6	27,0
18	22,6	21,2	30,8	27,2	52,6	36,0	57,6
19	50,0	49,2	48,8	56,8	89,0	75,0	79,6
20	37,6	48,0	53,6	54,8	97,0	69,6	73,6
21	22,0	36,8	30,4	27,6	71,6	49,0	56,0
22	15,0	23,6	21,6	20,4	43,0	27,6	39,0
23	8,6	10,0	5,2	8,0	11,6	13,0	10,6

APÊNDICE 3 - UTL do TOE unidade Acre

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	2,0	2,0	2,0	2,0	4,0	3,0	4,0
10	4,0	7,0	2,8	3,2	4,6	4,0	4,0
11	11,6	12,8	16,0	18,0	22,0	11,0	7,0
12	20,6	23,2	28,4	26,8	36,0	20,6	16,6
13	23,0	23,6	23,6	27,2	30,6	33,0	18,6
14	24,6	21,2	25,2	26,4	23,0	28,6	30,0
15	19,0	26,8	22,4	19,6	25,0	34,0	44,6
16	20,6	23,2	26,0	20,8	38,0	32,0	56,0
17	23,6	20,8	27,6	22,4	34,6	37,0	59,0
18	40,0	40,4	53,6	50,0	94,6	91,6	103,6
19	59,0	76,0	89,6	86,0	196,6	171,6	157,0
20	66,0	86,8	92,8	84,4	210,6	158,6	168,0
21	75,6	79,6	57,6	70,8	154,0	135,6	123,6
22	55,0	54,8	38,8	47,6	108,6	84,6	73,0
23	18,0	11,6	13,2	19,6	16,6	15,0	24,6

APÊNDICE 4 - UTL do TOE unidade Batista

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	2,0

9	2,0	0,0	0,0	2,0	2,0	0,0	0,0
10	3,4	3,6	4,0	3,0	4,0	3,4	3,6
11	10,6	26,0	28,4	25,6	31,6	19,6	27,6
12	23,0	34,4	38,0	37,2	46,6	32,6	68,0
13	19,6	27,2	25,6	30,0	35,0	42,6	71,0
14	20,0	22,4	32,4	23,6	30,0	45,0	68,6
15	22,0	24,4	25,2	22,4	27,6	41,0	68,6
16	21,6	21,6	28,4	22,4	18,6	40,6	57,6
17	24,6	27,2	29,6	31,2	31,6	39,0	72,6
18	50,0	58,0	60,8	72,4	86,6	75,6	126,6
19	81,6	114,0	115,6	123,2	159,6	140,0	190,0
20	78,6	104,4	113,6	129,6	184,6	162,6	184,0
21	64,6	79,2	79,6	97,2	131,0	120,6	137,0
22	41,6	55,2	52,0	47,6	82,6	74,6	77,6
23	5,6	8,8	4,4	8,8	15,0	9,6	6,0

APÊNDICE 5 - UTL do TOE unidade Borba

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	2,0	6,0	2,0	3,0	2,6	4,0	3,0
11	9,6	13,6	18,0	19,2	17,0	5,0	7,0
12	12,0	16,8	24,8	24,4	24,0	13,0	16,6
13	12,6	12,0	9,6	12,8	15,0	18,6	23,0
14	6,0	4,4	8,4	8,4	5,0	9,0	19,0
15	6,0	4,8	8,4	4,6	7,0	11,6	22,6
16	6,0	5,2	10,4	9,6	10,0	10,0	13,0
17	12,6	19,6	18,0	20,8	15,6	12,0	25,6
18	38,6	45,6	64,0	52,0	63,6	53,0	48,6
19	56,7	80,0	83,6	74,8	99,0	79,0	88,6
20	53,6	74,0	80,8	74,4	97,0	74,6	91,0

21	31,6	43,6	44,0	40,8	56,0	57,6	52,0
22	16,6	20,0	14,0	19,6	28,0	37,6	29,6
23	6,6	8,6	6,0	12,0	2,6	3,0	9,0

APÊNDICE 6 - UTL do TOE unidade Botafogo

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0
9	2,0	4,0	2,6	2,0	2,0	2,0	3,4
10	6,6	5,0	8,0	6,0	7,6	5,0	8,0
11	53,6	48,4	56,8	42,8	56,0	42,6	53,0
12	88,0	83,2	76,8	77,2	83,0	71,6	104,6
13	58,6	53,2	60,8	46,4	67,6	80,6	92,0
14	33,0	35,2	30,4	27,2	34,6	58,6	74,6
15	30,0	25,6	28,4	19,2	34,0	48,0	72,0
16	19,6	20,4	22,8	23,2	25,6	38,0	59,6
17	26,0	32,8	32,0	27,6	42,6	44,6	72,6
18	59,0	73,6	84,0	92,4	159,0	125,6	201,6
19	113,0	137,2	158,0	160,0	284,0	199,6	313,0
20	120,0	145,6	163,6	180,0	288,0	217,0	300,0
21	85,6	125,6	132,0	140,8	249,6	184,0	210,0
22	50,0	62,4	70,4	77,6	133,0	123,0	110,6
23	17,6	22,0	25,6	25,2	55,0	61,0	40,6

APÊNDICE 7 - UTL do TOE unidade Camerino

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	2,0	0,0
10	2,0	2,0	2,6	3,6	2,6	3,0	3,0
11	41,6	34,0	43,6	41,6	39,6	19,0	16,6
12	49,6	37,2	49,2	49,6	41,0	25,0	29,6
13	26,6	23,2	33,6	28,4	28,0	21,6	27,0

14	18,0	13,2	14,8	17,2	16,6	22,6	23,0
15	12,0	10,8	15,6	13,6	13,0	12,6	21,0
16	10,0	10,0	6,8	6,8	8,0	13,0	18,0
17	7,6	7,6	10,0	8,0	11,6	11,0	20,0
18	23,6	16,8	17,2	20,8	26,6	26,6	32,0
19	35,6	29,6	40,8	34,8	41,0	52,0	59,6
20	50,6	34,0	37,6	41,2	55,4	45,6	53,0
21	27,6	26,4	25,2	25,6	32,0	54,0	49,0
22	19,6	17,6	25,2	19,6	29,6	32,6	41,6
23	9,6	10,6	8,0	8,4	11,0	9,0	11,0

APÊNDICE 8 - Meta de funcionários Vargas

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1
18	1	2	2	2	3	2	3
19	1	2	2	2	3	3	3
20	1	2	2	2	3	3	3
21	1	2	1	2	3	2	2
22	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1

APÊNDICE 9 - Meta de funcionários Abelardo

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	2	2	2
20	1	1	1	1	2	2	2
21	1	1	1	1	2	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1

APÊNDICE 10 - Meta de funcionários Acre

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	2	2	2

19	1	2	2	2	4	3	3
20	2	2	2	2	4	3	3
21	2	2	1	2	3	3	3
22	1	1	1	1	2	2	2
23	1	1	1	1	1	1	1

APÊNDICE 11 - Meta de funcionários Batista

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	2
13	1	1	1	1	1	1	2
14	1	1	1	1	1	1	2
15	1	1	1	1	1	1	2
16	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	2
18	1	1	2	2	2	2	3
19	2	2	2	3	3	3	4
20	2	2	2	3	4	3	4
21	2	2	2	2	3	3	3
22	1	1	1	1	2	2	2
23	1	1	1	1	1	1	1

APÊNDICE 12 - Meta de funcionários Borba

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1

12	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	2	1	2	1	1
19	1	2	2	2	2	2	2
20	1	2	2	2	2	2	2
21	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1

APÊNDICE 13 - Meta de funcionários Botafogo

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1
12	2	2	2	2	2	2	2
13	1	1	2	1	2	2	2
14	1	1	1	1	1	1	2
15	1	1	1	1	1	1	2
16	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	2
18	1	2	2	2	3	3	4
19	2	3	3	3	5	4	6
20	2	3	3	3	5	4	5
21	2	3	3	3	5	4	4

22	1	2	2	2	3	3	2
23	1	1	1	1	1	2	1

APÊNDICE 14 - Meta de funcionários Camerino

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1