



# ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



01 a 03  
de dezembro 2021

## Programação Matemática Aplicada à Resolução de Casos Reais do Problema de Entrega de Pedidos (*Last-Mile Delivery*)

**Michella Aguiar Coelho**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI)

**Leandro Magatão**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI)

**Resumo:** Com a pandemia da COVID-19, os aplicativos que fornecem serviço de entrega de comida passaram a ser uma atividade essencial para a sociedade. Um dos desafios das empresas detentoras dessas plataformas, por meio das quais o cliente realiza pedidos de refeição e produtos, é a exigência de serviços de entrega *on-line* e que precisam ser eficientes e escaláveis. O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia para o problema de designação de entregadores para os pedidos realizados por plataformas de *Food Delivery online*, o qual pode ser categorizado como um problema de *Order Assignment* (Atribuição de Pedidos ou Designação de Pedidos). A metodologia de solução proposta engloba uma aplicação que processa os dados obtidos de casos reais para que, na sequência, um modelo matemático implementado em Programação Linear Inteira Mista (PLIM) possa designar para cada pedido o melhor entregador (em relação a critérios de tempo e distância), levando-se em consideração o grupo de pedidos e entregadores que precisavam ser combinados para aquele instante de tempo. O modelo proposto neste trabalho resolve os casos nos quais o número de entregadores disponíveis é maior que o número de pedidos a serem alocados, condição que representa a maioria dos cenários vivenciados pela empresa que forneceu os dados dos casos reais. Também são resolvidos de modo parcial os casos em que o número de pedidos é superior ao número de entregadores em um dado instante de tempo.

**Palavras-chave:** Entrega de Alimentos (*Food Delivery*), Entrega de Última Milha (*Last-Mile Delivery*), Designação de Pedidos, Programação Linear Inteira Mista (PLIM).

## Mathematical Programming Applied to Solve Real Cases of the Order Delivery Problem (*Last-Mile Delivery*)

**Abstract:** With the COVID-19 pandemic, applications that provide food delivery service have become an essential activity for society. One of the challenges for companies that own these platforms, through which the customer orders meals and products, is the demand for online delivery services that has to be efficient and scalable. The objective of this work is to develop a methodology for the problem of deliverymen assignment for orders made through online Food Delivery platforms, which can be categorized as an Order Assignment problem. The proposed solution methodology encompasses an application that processes data obtained from real cases. In the sequence, a mathematical model implemented in Mixed Integer Linear Programming (MILP) can designate the

best deliveryman for each order (in relation to time and distance criteria), taking into account the group of orders and deliverers that needed to be combined for that instant of time. The proposed model solves the cases in which the number of available couriers is equal or greater than the number of orders to be allocated, a condition that represents the majority of scenarios experienced by the company that provided the data for real cases. The model is also able to partially solve cases with the number of orders greater than the number of deliverymen.

**Keywords:** Food Delivery Problem, Last-Mile Delivery, Order Assignment, Mixed Integer Linear Programming (MILP).

## 1. Introdução

O objetivo principal deste trabalho encontra-se em otimizar a escolha do entregador para realizar um determinado pedido de entrega de refeição e produtos. No caso, essa designação é realizada considerando-se um conjunto de entregadores possíveis para um determinado conjunto de pedidos que necessitam serem entregues em um curto espaço de tempo para o cliente, cenário que é caracterizado na literatura como *Order Assignment Problem* ou *Food Delivery Problem* dentro do contexto de *last-mile delivery* (Cosmi *et al.*, 2019). Casos reais cedidos por uma empresa detentora de uma plataforma de FD (*Food Delivery*) *online*, denominada Empresa X, são resolvidos dentro do contexto de *Order Assignment* (OA) através da combinação entre o processamento de dados e um modelo matemático em Programação Linear Inteira Mista.

No decorrer deste trabalho será realizada a contextualização segundo a literatura (seção 1.1), a descrição do problema (seção 2), a descrição da metodologia utilizada (seção 3), a apresentação dos resultados obtidos (seção 4) e, por último, as considerações finais a respeito assunto abordado (seção 5).

### 1.1 Breve Contextualização Sobre o Problema Segundo a Literatura

As plataformas de *FD online* entraram em evidência durante a pandemia tornando-se uma forma de manter as pessoas em distanciamento social, pois permitiram que as pessoas recebessem refeições e também itens de mercado sem sair de casa. Além de serem importantes para manter os restaurantes vendendo, e as pessoas em distanciamento social, também foram importantes para que pessoas em dificuldade financeira pudessem obter alguma renda por meio da realização de entregas, assim como manter o rendimento dos entregadores que já atuavam como terceiros nas plataformas de entrega de comida (PAL *et al.*, 2021).

Segundo Reyes *et al.* (2018), a entrega de refeições é indiscutivelmente o maior desafio na logística de última milha (do inglês *last-mile delivery*): espera-se que um pedido seja entregue dentro de uma hora (muito menos, se possível) e dentro de minutos da refeição ter ficado pronta.

De fato, o termo *last-mile delivery* vem sendo associado aos problemas técnicos emergentes neste contexto de estudo e pode ser aprofundado em Boysen *et al.* (2021). Savelsbergh e Woensel (2016) e CHU *et al.* (2021).

Ao invés de serviços de entrega operados por restaurante, que falham em escalar e atender as elevadas expectativas do cliente quanto ao tempo de entrega, custo e disponibilidade, os serviços de entrega de refeições estão configurados para alcançar níveis de eficiência mais elevados. Tais plataformas visam não apenas oferecer um serviço de superior qualidade a menor custo, mas também fornecem mais opções ao cliente final (YILDIZ; SAVELBERGH, 2019) e (LU *et al.*, 2017).

Para terem sucesso em seu negócio, os serviços de entrega de refeições devem satisfazer alguns *stakeholders* que são chave para a cadeia. Clientes querem um serviço confiável e rápido. Restaurantes parceiros querem que seu produto seja servido fresco para satisfazer

ao cliente e assim crescer a base de clientes. Finalmente, os entregadores querem entregar pedidos suficientes para alcançar um faturamento desejado (ULMER *et al.*, 2021).

Tendo em vista a motivação apresentada na revisão da literatura, o Quadro 1 traz de forma sintetizada as referências ao ferramental utilizado para resolução de problemas similares ao estudado neste artigo.

**Quadro 1 – Abordagem de resolução de problemas similares encontrados na literatura.**

<b>Título</b>	<b>Referência</b>	<b>Síntese da Abordagem Utilizada</b>
<i>Order Assignment and Routing for Online Food Delivery: Two Meta-Heuristic Methods</i>	Lu <i>et al.</i> (2017)	Método hierárquico e método integrado foram propostos, ambos utilizando algoritmos genéticos para o processo de solução.
<i>An optimization-driven dynamic vehicle routing algorithm for on-demand meal delivery using drones</i>	Liu (2019)	Proposta de um modelo matemático em Programação Linear Inteira Mista, combinado a uma heurística para facilitar o processo de decisão.
<i>Provably High-Quality Solutions for the Meal Delivery Routing Problem</i>	Yildiz e Savelsbergh (2019)	Algoritmo simultâneo de geração linha-coluna combinado com Programação Linear. Conceito de compensação garantida aos entregadores é avaliado.
<i>Dynamic courier routing for a food delivery service</i>	Steever <i>et al.</i> (2019)	Formulação utilizando Programação Linear Inteira Mista em combinação com uma heurística baseada em leilão.
<i>Single courier single restaurant meal delivery</i>	Cosmi <i>et al.</i> (2019)	Formalização do contexto como um problema de agendamento ( <i>scheduling</i> ) de máquina única e resolução via algoritmo de programação dinâmica.
<i>The Meal Delivery Routing Problem</i>	Reyes <i>et al.</i> (2018)	Algoritmo de horizonte rolante e correspondência repetida para resolver o problema em tempo (quase) real.
<i>The Restaurant Meal Delivery Problem: Dynamic Pick-Up and Delivery with Deadlines and Random Ready Times</i>	Ulmer <i>et al.</i> (2021)	Função de aproximação de custo parametrizável com base em um processo de decisão de Markov.

Fonte: Autoria própria

## 2. Descrição do Problema

No problema abordado neste trabalho, referenciado como problema de *Order Assignment*, considera-se a existência de quatro principais atores: o consumidor, a plataforma de *Food Delivery online*, o entregador e o estabelecimento.

O consumidor tem como principal atribuição a realização do pedido por meio da ferramenta *online* disponibilizada pela empresa em questão. No caso da Empresa X essa ferramenta era um aplicativo móvel, o qual possibilita que o consumidor escolha um estabelecimento, dentre uma lista de estabelecimentos, selecione os itens, defina o ponto onde o pedido deverá ser entregue e realize o pedido.

A plataforma de *Food Delivery online*, representa neste trabalho toda a entidade composta pela empresa em questão, desde seus sistemas até os personagens envolvidos nas transações referentes a um pedido. Basicamente, o principal papel da plataforma é sincronizar as atividades entre o consumidor, estabelecimento e entregador. No caso da Empresa X, a plataforma engloba tanto os aplicativos do consumidor e do entregador, quanto o *website* utilizado pelo estabelecimento e os serviços que realizam a sincronização e encaminham as devidas informações para cada aplicativo/*website* em questão, direcionando a ação de cada ator. É importante ressaltar que o serviço que designa qual o

pedido um determinado entregador deverá entregar está compreendido no escopo da plataforma.

O estabelecimento recebe o pedido realizado pelo cliente e processado pela plataforma, o qual deverá, por meio do *website* de gerenciamento de pedidos fornecido pela Empresa X, concordar em realizar o pedido ou afirmar que não poderá realizá-lo. No caso de o estabelecimento não aceitar o pedido, a plataforma realizará o cancelamento do mesmo.

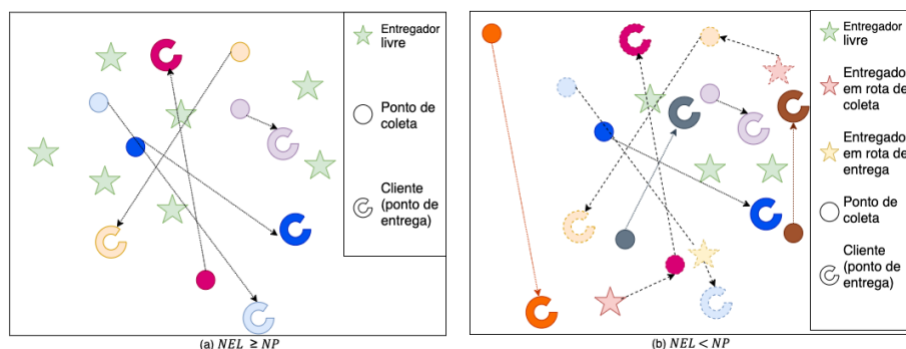
Por fim, o entregador, tendo recebido todas as informações pertinentes ao pedido e aceito realizar a entrega, será responsável por se dirigir ao estabelecimento responsável pelo(s) produto(s) vendido(s), coletá-lo(s) e transportá-lo(s) até o ponto designado pelo consumidor.

Para que a plataforma consiga realizar a escolha de um determinado entregador para um determinado pedido, alguns dados são necessários a respeito do entregador, do pedido e do estabelecimento.

## 2.1 Cenários do problema de *Order Assignment*

O problema de *Order Assignment* possui um contexto dinâmico em relação aos seguintes aspectos: o Número de Entregadores Livres (*NEL*) varia em função do tempo, assim como o Número de Pedidos (*NP*) a serem alocados, assim como a localização de cada entregador. Para a elaboração de uma proposta de solução foram utilizados os dados coletados em um instante específico de tempo (*timestamp*). A Figura 1 ilustra o cenário no qual o número de entregadores livres é maior ou igual ao número de pedidos a serem alocados ( $NEL \geq NP$ ) e o cenário no qual  $NEL < NP$ .

Figura 1 – Representação dos cenários baseados em *NEL* e *NP*



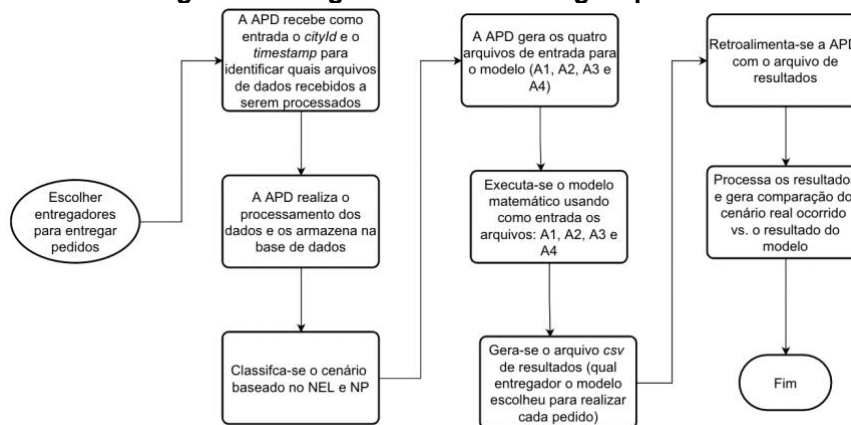
Fonte: Autoria própria

A metodologia proposta, que será abordada na seção 3, compreende a resolução completa dos cenários onde  $NEL \geq NP$ , os quais possuem uma grande aplicação para a empresa de *FD online* em análise, e a resolução parcial dos casos nos quais  $NEL < NP$ . Nesta última situação, nem todos os pedidos solicitados são designados no momento de análise.

## 3. Materiais e Métodos

A Figura 2 a seguir representa, de modo macro, cada processo envolvido na metodologia proposta. Tendo em vista que os dados recebidos pela Empresa X estão organizados segundo cada cidade, a qual é referenciada pelo identificador único *cityId*, a metodologia desenhada tratará o caso de cada cidade de forma isolada. Sobre os dados obtidos da Empresa X, é importante ressaltar que os mesmos foram coletados em um determinado instante de tempo (*timestamp*), ou seja, as localizações, o número de pedidos a serem alocados, o número de entregadores disponíveis, entre outros, é o retrato daquele segundo. Na metodologia proposta, a Aplicação de Processamento de Dados (APD), como referenciada pela Figura 2, representa a aplicação desenvolvida para processar os dados e gerar as informações necessárias para o modelo matemático.

Figura 2 – Diagrama da metodologia aplicada



Fonte: Autoria própria

### 3.1 Dados Recebidos da Empresa X

A obtenção dos dados da Empresa X deu-se no domínio dos Entregadores e no domínio do Pedido, que compreende também o Estabelecimento e o Consumidor.

Para realizar o processamento dos dados foi realizado um mapeamento das informações que o modelo matemático necessitaria para conseguir entregar uma solução válida em três seções: sobre a identificação dos pedidos e dos entregadores, sobre os pedidos e sobre a relação pedido-entregador.

#### 3.1.1 Sobre a identificação dos pedidos e dos entregadores

- O modelo deverá conhecer a quantidade de entregadores disponíveis, quais são esses entregadores e suas respectivas localizações;
- O modelo deverá conhecer a quantidade de pedidos que precisam ser alocados para os entregadores e também ser capaz de identificá-los, por exemplo, em relação às características atreladas à localização.

#### 3.1.2 Sobre os pedidos

Para cada pedido específico o modelo deverá conhecer:

- O identificador único do pedido, *orderId*;
- O modelo precisará conhecer a “idade” do pedido (em minutos), ou seja, há quanto tempo o pedido entrou na plataforma, referenciada como *age*;
- O modelo precisará conhecer a distância (em metros) entre o ponto de coleta e o ponto de entrega do pedido, que será referenciada como *distance*;
- O modelo também precisará conhecer quanto tempo (em minutos) leva-se para percorrer a distância entre o ponto de coleta e o ponto de entrega para os três possíveis meios de transporte que o entregador possa estar utilizando: bicicleta, motocicleta e carro. Estes serão representados respectivamente como *timeByBike*, *timeByMoto* e *timeByCar*.

#### 3.1.3 Sobre a relação pedido-entregador

- O identificador único do entregador, *courierId*;
- O identificador único do pedido, *orderId*;
- O tipo de transporte que o entregador está utilizando, referenciado como *transportType*;
- O tempo (em minutos) para o entregador chegar até o ponto de coleta do pedido, *timeToPickup*;
- A distância entre a posição do entregador e o ponto de coleta do pedido, *distanceToPickup*;

— O tempo de espera para que o entregador possa coletar o pedido, *waitingTime*.

### 3.2 Processamento das informações mapeadas

Para obter as informações que foram mapeadas como necessárias optou-se por utilizar a linguagem de programação Ruby (versão 2.6.3), juntamente com o framework Rails (versão 6). Para armazenamento dos dados foi utilizado o banco de dados relacional PostgreSQL (versão 13.2). A APD gera quatro arquivos (A1, A2, A3 e A4), também no formato csv, a partir dos dados recebidos pela Empresa X, os quais são utilizados como entrada para o modelo matemático:

- Arquivo contendo os identificadores dos pedidos a serem alocados (A1);
- Arquivo contendo os identificadores dos entregadores disponíveis (A2);
- Arquivo contendo as informações de cada pedido que precisará ser alocado (A3);
- Arquivo contendo as informações da relação pedido-entregador (A4).

### 3.3 Modelagem matemática

O modelo matemático utiliza os parâmetros (Tabela 1), índices e conjuntos (Tabela 2) e variáveis (Tabela 3) para sua definição.

**Tabela 1** – Parâmetros utilizados para elaboração do modelo matemático.

Parâmetro	Tipo	Descrição
<i>tb</i>	Binário	Determina se o meio de transporte utilizado é bicicleta ( $tb = 1$ ) ou não ( $tb = 0$ )
<i>tm</i>	Binário	Determina se o meio de transporte utilizado é motocicleta ( $tm = 1$ ) ou não ( $tm = 0$ )
<i>tc</i>	Binário	Determina se o meio de transporte utilizado é carro ( $tc = 1$ ) ou não ( $tc = 0$ )
<i>dcp</i>	Inteiro Positivo	Distância do entregador até o ponto de coleta (em metros)
<i>tcp</i>	Inteiro Positivo	Tempo para o entregador chegar até o ponto de coleta (em minutos)
<i>wt</i>	Inteiro Positivo	Tempo de espera para retirar o pedido (em minutos)
<i>dpc</i>	Inteiro Positivo	Distância entre o ponto de coleta e o ponto de entrega (em metros)
<i>trb</i>	Inteiro Positivo	Tempo para navegar entre o ponto de coleta e o ponto de entrega de bicicleta (em minutos)
<i>trm</i>	Inteiro Positivo	Tempo para navegar entre o ponto de coleta e o ponto de entrega de motocicleta (em minutos)
<i>trc</i>	Inteiro Positivo	Tempo para navegar entre o ponto de coleta e o ponto de entrega de carro (em minutos)
<i>a</i>	Inteiro Positivo	Tempo decorrido desde a entrada no pedido na plataforma até o momento da coleta dos dados, idade do pedido, (em minutos)
<i>TO</i>	Inteiro Positivo	Total de pedidos a serem alocados
<i>TC</i>	Inteiro Positivo	Total de entregadores disponíveis
<i>MOC</i>	Inteiro Positivo	Número máximo de pedidos permitido por entregador
<i>M</i>	Inteiro Positivo	Valor suficientemente grande para ponderar a variável de relaxação na função objetivo

**Fonte: Autoria própria**

**Tabela 2** – Índices e conjuntos utilizados para elaboração do modelo matemático.

Índice	Conjunto	Descrição
<i>o</i>	$o \in O$	Identificador único para o pedido “ <i>o</i> ”, que pertence ao conjunto de todos os pedidos “ <i>O</i> ”
<i>c</i>	$c \in C$	Identificador único para o entregador “ <i>c</i> ”, que pertence ao conjunto de todos os entregadores “ <i>C</i> ”
$\{o,c\}$	$\{o,c\} \in OC$	Conjunto de dados referentes à combinação entre cada pedido com cada entregador livre

$\{o,c,dcp,tcp,tb,tm,tc,wt\}$   $\{o,c,dcp,tcp,tb,tm,tc,wt\} \in DOC$  Conjunto de dados referentes à relação entregador pedido

$\{o,dpd,trb,trm,trc,a\}$   $\{o,dpd,trb,trm,trc,a\} \in DO$  Conjunto de dados referentes ao pedido

**Fonte: Autoria própria**

**Tabela 2** – Variáveis adotadas para elaboração do modelo matemático.

Variável	Tipo	Descrição
$vOC_{o,c}$	Binário	Variável que determina se o pedido “o” é alocado para o entregador “c”
$vRC_o$	Inteiro Positivo	Variável de relaxação no número de pedidos; notar que o limite superior da variável é limitado ao valor de $MOC$

**Fonte: Autoria própria**

A Equação 1 apresenta a função objetivo da formulação proposta. Esta equação é composta por 3 termos, sendo que o terceiro termo foi dividido em três partes.

O Termo 1 é referente à minimização das distâncias. O modelo analisa cada possível combinação levando-se em consideração a distância do entregador ao ponto de coleta e a distância entre o ponto de coleta e o ponto de entrega. O Termo 2 trata de uma condição de relaxação que permite que o modelo decida deixar de realizar alguns pedidos, caso seja considerado pertinente. Apenas para ciência inicial, menciona-se que o valor do parâmetro  $M$  utilizado para a resolução dos casos e análise de performance foi 10000. Este valor foi suficientemente grande para estabelecer que violações ocorreriam somente em casos estritamente necessários, não existindo “competição” do Termo 2 em relação aos demais. Já o Termo 3 refere-se à minimização do tempo, o qual está relacionado com o meio de transporte que o entregador está utilizando. Assim, o Termo 3.1 é ativado se o meio de transporte é bicicleta, o Termo 3.2 se é motocicleta e o Termo 3.3 no caso de carro. Desta forma, busca-se minimizar, de acordo com cada um dos meios de transporte: (i) o tempo para percorrer a distância entre a localização atual do entregador e o ponto de coleta do pedido; (ii) o tempo que se leva para percorrer a distância entre o ponto de coleta e entrega; e, (iii) a idade do pedido e o tempo de espera.

A Inequação 2 indica que o número total de pedidos alocados aos entregadores é limitado pelo número total de pedidos a serem alocados. A Inequação 3 limita o número máximo de pedidos alocados a cada entregador em função do parâmetro  $MOC$ . A Inequação 4 limita o modelo para que sejam escolhidos apenas um entregador para entregar um único pedido. A Equação 5 permite que, num caso limite, entregas não sejam alocadas a nenhum entregador, mas tal condição é penalizada na função objetivo, Termo 2.

A abordagem de solução proposta foi projetada para entregar uma resposta para a alocação de todos os pedidos no caso em que  $NEL \geq NP$ . Contudo, foi concebida uma forma de obter uma solução para os casos em que  $NEL < NP$ , mas com a limitação de que (alguns) pedidos não serão atendidos pela escassez de entregadores, conforme Equação 5.

$$\begin{aligned}
\text{Minimize } z = & \underbrace{\sum_{\substack{(o,c) \in OC \\ dcp \in DOC; dpd \in DO}} vOC_{o,c} \cdot (dcp + dpd)}_{\text{Termo 1}} + \\
& \underbrace{\sum_{o \in \{1 \dots TO\}} vRC_o \cdot M}_{\text{Termo 2}} + \\
& \underbrace{\sum_{\substack{(o,c) \in OC \mid (tb=1) \\ wt, tcp \in DOC; a, trb \in DO}} vOC_{o,c} \cdot (tcp + trb + a + wt)}_{\text{Termo 3.1}} + \\
& \underbrace{\sum_{\substack{(o,c) \in OC \mid (tm=1) \\ wt, tcp \in DOC; a, trm \in DO}} vOC_{o,c} \cdot (tcp + trm + a + wt)}_{\text{Termo 3.2}} + \\
& \underbrace{\sum_{\substack{(o,c) \in OC \mid (tc=1) \\ wt, tcp \in DOC; a, trc \in DO}} vOC_{o,c} \cdot (tcp + trc + a + wt)}_{\text{Termo 3.3}}
\end{aligned} \tag{1}$$

$$\sum_{(o,c) \in OC} vOC_{o,c} \leq TO \tag{2}$$

$$\sum_{(o,c) \in OC \mid c=cv} vOC_{o,c} \leq MOC \quad \forall cv \in \{1 \dots TC\} \tag{3}$$

$$\sum_{(o,c) \in OC \mid o=ov} vOC_{o,c} \leq 1 \quad \forall ov \in \{1 \dots TO\} \tag{4}$$

$$\sum_{(o,c) \in OC \mid o=ov} vOC_{o,c} = MOC - vRC_o \quad \forall ov \in \{1 \dots TO\} \tag{5}$$

#### 4. Resultados e Discussão

Os casos analisados estão descritos na Tabela 1, na qual podem ser observados a quantidade de pedidos a serem alocados, os entregadores que estão ativos na plataforma (*online*), os entregadores que estão ocupados e os entregadores livres, assim como, a classificação de cada caso. Para análise, foram escolhidos dois casos com classificação  $NEL \geq NP$  e dois casos onde  $NEL < NP$ . Contudo, é importante ressaltar que dentro os casos recebidos da Empresa X, mais de 70% pertenciam à classificação  $NEL \geq NP$ .

Para facilitar o entendimento dos resultados, a Tabela 2 e a Tabela 3 sintetizam os tempos e distâncias médias do modelo em comparação com o realizado pela Empresa X e trazem uma visão sintetizada do tempo de execução para cada caso, assim como, o número de pedidos a serem alocados e o que de fato o modelo conseguiu alocar. É notório na Tabela 2 que há diferenças significativas dos tempos médios indicados pelo modelo (totalizando 36,4 min) e o que de fato foi observado a partir dos dados práticos (105,7 min); os valores referentes às distâncias médias do modelo (2091 m) e dos dados reais (2118 m) são mais



próximos. As diferenças nos resultados apresentados são exploradas em um aprofundamento do caso 5 e do caso 10 nas seções 4.1 e 4.2, respectivamente.

**Tabela 1** – Casos a serem analisados neste trabalho.

Caso	Instante de tempo (timestamp)	Identificador da cidade (cityId)	Pedidos para serem alocados	Entregadores "online"	Entregadores ocupados	Entregadores livres	Classificação
5	2020-12-16 17:31:25	5	5	21	12	9	$NEL \geq NP$
8	2020-12-16 17:31:25	8	15	24	12	12	$NEL < NP$
10	2020-12-15 19:38:38	2	22	98	88	10	$NEL < NP$
15	2020-12-15 19:38:38	8	7	23	12	11	$NEL \geq NP$

Fonte: Autoria própria

**Tabela 2** – Resultado das médias de tempo e distância realizadas pelo modelo analogamente ao realizado pela Empresa X.

Caso	Tempo Médio do Modelo (min)	Tempo Médio Real (min)	Distância Média Modelo (m)	Distância Média Real (m)
5	13,4	38,5	801	858
8	5,3	15	294	300
10	9,8	25,4	560	523
15	7,9	26,8	436	435
<b>Total</b>	36,4	105,7	2091	2118

Fonte: Autoria própria

Para que fosse possível realizar uma comparação aproximada entre os tempos estimados pelo modelo com os tempos realizados pela Empresa X algumas premissas foram assumidas: Os tempos de aceite do entregador foram descartados na consolidação do tempo real de entrega; o tempo real de entrega foi considerado a partir do momento que o entregador aceitou o pedido até o pedido ser de fato entregue; e, por último, a distância real é uma estimativa baseada na posição dos entregadores no instante de tempo da obtenção dos dados, mas não necessariamente representa a distância real percorrida pelo entregador, pois o entregador já estava em movimento antes mesmo da coleta dos dados.

**Tabela 3** – Tempo de execução computacional da abordagem e pedidos alocados para cada caso.

Caso	Tempo de Execução	Pedidos Para Alocar	Pedidos Alocados
5	14 ms	5	5
8	38 ms	15	12
10	33 ms	22	10
15	16 ms	7	7

Fonte: Autoria própria

#### 4.1 Caso 5

Os resultados para o caso 5 apresentado acima podem ser analisados de forma mais detalhada na Tabela 4, a seguir. Nesta tabela, os campos representam:

- *orderId*: identificador único do pedido;
- *modelCourierId*: identificador único do entregador alocado pelo modelo;
- *realCourierId*: identificador único do entregador que de fato realizou a entrega;
- *modelTotalTime*: tempo total que o modelo levou desde o aceite do entregador até a entrega do pedido;
- *realTotalTime*: tempo total entre o momento em que o pedido foi aceito pelo entregador e de fato chegou à residência do cliente;

- *modelDistance*: cálculo aproximado da distância percorrida pelo entregador, na escolha realizada pelo modelo, considerando-se a posição inicial do entregador como sendo a posição conhecida repassada pela Empresa X no conjunto de dados;
- *realDistance*: cálculo aproximado da distância percorrida pelo entregador, na escolha realizada no caso real, considerando-se a posição inicial do entregador como sendo a posição conhecida repassada pela Empresa X e descartando-se as distâncias percorridas anteriormente ou posteriormente ao instante de tempo em questão.

**Tabela 4** – Resultados para o caso 5.

<i>orderId</i>	<i>model-CourierId</i>	<i>real-CourierId</i>	<i>model-TotalTime (min)</i>	<i>real-TotalTime (min)</i>	<i>model-Distance (m)</i>	<i>real-Distance (m)</i>
246	948179	845793	13	61	777	1066
247	1131446	688196	7	NULL	467	NULL
248	1510278	2690579	19	49	1132	989
249	2498237	2500413	14	15	768	741
250	1211591	1358378	14	29	863	634

**Fonte: Autoria própria**

Para este caso, como mostra a Tabela 1, havia 9 entregadores livres e 5 pedidos a serem alocados. A escolha do entregador para o pedido de identificador *orderId* está representado na coluna *modelCourierId* da Tabela 4.

No cenário em análise há uma quantidade de entregadores disponíveis (9) quase duas vezes maior que número de pedidos para serem alocados (5), possibilitando diferentes opções de escolha para a alocação entregador-pedido. Ressalta-se, ainda, que a forma com que a Empresa X realiza as escolhas *versus* a forma que o modelo as realiza pode conduzir a soluções distintas. O modelo matemático “enxerga” um conjunto de pedidos e um conjunto de entregadores. A heurística aplicada pela Empresa X analisa pedido a pedido, conforme a entrada dos mesmos no sistema. Deste modo, o modelo busca uma solução que seja de consenso para um conjunto de pedidos.

Analisando-se os números referentes ao tempo de cada pedido, é possível notar que o modelo matemático estima um tempo menor (melhor) para todos os pedidos, exceto o 247, no qual os dados não são conhecidos por conta de o pedido ter sido cancelado antes de sua conclusão. É importante comentar que tanto a Empresa X quanto o modelo matemático não têm o detalhamento de todos os tempos envolvidos; por exemplo, pode ser que o entregador não entre imediatamente em rota de coleta assim que aceita um pedido. Outro ponto é em relação à rota escolhida pelo entregador, que pode ser diferente da rota calculada pela APD, que foi usada como parâmetro para a decisão do modelo. Além disso, apesar da APD capturar dados referentes ao trajeto sugerido, o trânsito na prática pode influenciar nos tempos de cada trajeto ou o entregador pode fazer uma parada totalmente alheia à entrega do pedido, por exemplo, para reabastecer.

Mesmo com todas as incertezas envolvidas, na média, como pode ser visto na Tabela 2, os pedidos tendem a ser entregues aproximadamente 2 vezes mais rápido pelas escolhas do modelo matemático do que pelas escolhas realizadas na prática pela Empresa X (13,4 min versus 38,5 min). Já a distância média do modelo ficou em 801 metros, contra o indicado pela distância real (858 m, para pedidos realizados). Ressalta-se, contudo, que a distância real indicada não necessariamente representa a distância percorrida pelo entregador, por conta de não existir acesso a todos os dados de cada instante de tempo, conforme comentado anteriormente.

Para este caso 5, segundo especialista do sistema, a modelagem matemática proposta poderia ter sido aplicada na realidade por conta do baixo tempo de execução (14 ms) e considerando-se que a Empresa em questão tem conhecimento dos dados processados.

## 4.2 Caso 10

Os resultados do caso 10 podem ser encontrados na Tabela 5. Para este caso, no instante de tempo da coleta dos dados, havia 22 pedidos para serem alocados e somente 10 entregadores disponíveis, o que o classifica em um contexto com  $NEL < NP$ . Para a metodologia de solução apresentada, a qual é centrada em um modelo matemático em PLIM, o tempo de resolução ficou em 33 ms. A restrição 3 permite que um entregador realize apenas um pedido, a qual é limitada pelo parâmetro  $MOC = 1$  (*Maximum Orders per Courier*). Assim, o modelo teve que ativar o conjunto de variáveis de relaxação no número de pedidos ( $\nu RCo$ ), o qual é ponderado na função objetivo (Equação 1). A mudança do valor desse parâmetro  $MOC$  para 2, por exemplo, pode configurar uma alternativa para que o modelo possa alocar mais pedidos por entregador numa situação na qual o número de entregadores livres é menor que o número de pedidos a serem alocados. Contudo, a atual versão do modelo matemático não contempla plenamente as necessárias restrições para roteamento no contexto supracitado, as quais demandariam aprimoramentos na formulação proposta. De modo adicional, para esse caso, deveriam ser conhecidos todos os dados em relação aos entregadores ocupados, em que fase eles estão do pedido que estão realizando (rota de coleta, rota de entrega, ponto de entrega), quanto tempo resta para eles estarem livres para iniciar a próxima entrega, entre outros dados.

Tabela 5 – Resultados para o caso 10.

<i>orderId</i>	<i>model-CourierId</i>	<i>real-CourierId</i>	<i>model-TotalTime (min)</i>	<i>real-TotalTime (min)</i>	<i>model-Distance (m)</i>	<i>real-Distance (m)</i>
484	1440965	3703922	10	23	603	376
485	3770397	2178737	20	50	1219	706
486	2178737	1858782	6	29	366	483
487	589676	3014732	7	24	411	741
488	3276553	2178737	9	33	539	698
489	3703922	NULL	3	NULL	206	NULL
490	3414234	3490366	13	11	608	302
491	3476720	3490366	12	13	598	292
492	3704453	2286911	13	20	772	598
493	589650	3276553	5	17	276	508

Fonte: Autorial Própria

## 5. Considerações Finais

O presente trabalho aborda o problema de designação de entregadores que realizam a entrega de pedidos realizados por clientes por meio de plataformas *on-line* de entrega, que é categorizado como *Order Assignment* dentro do contexto de *last-mile delivery*. A abordagem de solução proposta é centrada em um modelo matemático em *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP) para auxiliar o processo decisório de designação. Casos reais cedidos por uma empresa de *Food Delivery* são analisados.

Apesar de o tempo médio de entrega para os casos reais poderem ter sofrido influência de fatores externos como o trânsito vivenciado, paradas desconhecidas realizadas pelo entregador, tempo de espera não mapeado pelo sistema, entre outros, considera-se que os resultados obtidos foram satisfatórios principalmente para os casos onde  $NEL \geq NP$ , que foram resolvidos de forma completa. Também houve a resolução parcial dos cenários onde  $NEL < NP$ , com a limitação de não serem entregues todos os pedidos que necessitavam de entregador. Ambos os cenários apresentaram resultados melhores que os casos reais analisados. E poderiam ser aplicados em casos reais similares.

Para trabalhos futuros sugere-se a resolução completa dos cenários onde  $NEL < NP$ , para o qual é possível buscar uma outra abordagem de otimização que seria a agregação de pedidos. Outro âmbito de otimização que pode ser levado em consideração na expansão desse problema é a maximização do número de entregas realizadas por cada entregador.

## Referências

BOYSEN, Nils; FEDTKE, Stefan; SCHWERDFEGGER, Stefan. Last-mile delivery concepts: a survey from an operational research perspective. **OR Spectrum**, v. 43, n. 1, p. 1–58, Mar 2021. ISSN 1436-6304. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00291-020-00607-8>.

CHU, Hongrui; ZHANG, Wensi; BAI, Pengfei; CHEN, Yahong. Data-driven optimization for last-mile delivery. **Complex & Intelligent Systems**, Feb 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40747-021-00293-1>.

COSMI, Matteo; ORIOLO, Gianpaolo; PICCIALLI, Veronica; VENTURA, Paolo. Single courier single restaurant meal delivery (without routing). **Operations Research Letters**, v. 47, n. 6, p. 537–541, 2019. ISSN 0167-6377. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167637719301920>.

LIU, Yanchao. An optimization-driven dynamic vehicle routing algorithm for on-demand meal delivery using drones. **Computers & Operations Research**, v. 111, p. 1–20, 2019. ISSN 0305-0548. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054819301431>.

LU, Yuxin; WU, Yongzhong; ZHOU, Yongwu. Order assignment and routing for online food delivery: Two meta-heuristic methods. In: Proceedings of the 2017 International Conference on Intelligent Systems, **Metaheuristics & Swarm Intelligence**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. (ISMSI '17), p. 125–129. ISBN 9781450347983. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3059336.3059349>.

PAL, Debajyoti; FUNILKUL, Suree; EAMSINVATTANA, Wichai; SIYAL, Saeed. Using online food delivery applications during the covid-19 lockdown period: What drives university students' satisfaction and loyalty? **Journal of Foodservice Business Research**, Routledge, 12 Aug 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15378020.2021.1964419>.

REYES, Damián; ERERA, A.; SAVELBERGH, M.; SAHASRABUDHE, S.; O'NEIL, Ryan J. The meal delivery routing problem. In: **Optimization Online**. Mathematical Optimization Society, 2018 (Acessado em 13/09/2021). Disponível em: [http://www.optimization-online.org/DB\\_FILE/2018/04/6571.pdf](http://www.optimization-online.org/DB_FILE/2018/04/6571.pdf).

SAVELBERGH, Martin; WOENSEL, Tom Van. 50th anniversary invited article—city logistics: Challenges and opportunities. **Transportation Science**, v. 50, Mar 2016. Disponível em: <https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/trsc.2016.0675>.

STEEVER, Zachary; KARWAN, Mark; MURRAY, Chase. Dynamic courier routing for a food delivery service. **Computers & Operations Research**, v. 107, p. 173–188, 2019. ISSN 0305-0548. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054819300681>.

ULMER, Marlin; THOMAS, Barrett; CAMPBELL, Ann; WOYAK, Nicholas. The restaurant meal delivery problem: Dynamic pick-up and delivery with deadlines and random ready times. **Transportation Science**, Jan 2021. Disponível em: <https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/trsc.2020.1000>.

YILDIZ, Baris; SAVELBERGH, Martin. Provably high-quality solutions for the meal delivery routing problem. **Transportation Science**, v. 53, n. 5, p. 1372–1388, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0887>.