

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

MARIANA FRANCO DA SILVA MAIOLO

**Modelo de priorização da entrega de cartões de uma instituição financeira com impacto na
experiência do cliente**

Guaratinguetá

2021

Mariana Franco da Silva Maiolo

Modelo de priorização da entrega de cartões de uma instituição financeira com impacto na experiência do cliente

Dissertação apresentada para o Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins

Coorientador: Prof. Dr. Claudemir Leif Tramarico

Guaratinguetá

2021

Maiolo, Mariana Franco da Silva
M227m Modelo de priorização da entrega de cartões de uma instituição financeira com impacto na experiência do cliente / Mariana Franco da Silva Maiolo – Guaratinguetá, 2021.
68 f : il.
Bibliografia: f. 63

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2021.
Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins
Coorientador: Prof. Dr. Claudemir Leif Tramarico

1. Programação linear. 2. Centros de atendimento ao cliente.
3. Entrega de mercadorias. I. Título.

CDU 65.012.122(043)

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

MARIANA FRANCO DA SILVA MAIOLO

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO: MESTRADO**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Profa. Dra. Gislaine Cristina Batistela
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. FERNANDO AUGUSTO SILVA MARINS
Orientador - UNESP/FEG
participou por videoconferência



P/ Prof. Dr. ANEIRSON FRANCISCO DA SILVA
UNESP/FEG
participou por videoconferência



P/ Prof. Dr. ANTÔNIO AUGUSTO CHAVES
UNIFESP

Agosto de 2021

DADOS CURRICULARES

MARIANA FRANCO DA SILVA MAIOLO

NASCIMENTO 22/01/1992 - Americana / SP

FILIAÇÃO Wilson Franco da Silva
Maria Odete de Mendonça Franco da Silva

2010 / 2015 Graduação em Engenharia de Manufatura
Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas

Aos meus pais Wilson e Odete.

Ao meu marido Michel.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

Ao meu marido Michel, que esteve ao meu lado em todos os momentos dessa jornada, pelo amor, carinho e dedicação.

Aos meus pais Wilson e Odete, que sempre me incentivaram e apoiaram, pelo amor e carinho.

Aos meus irmãos Juninho e Marcos, que sempre me apoiaram, pelo amor, carinho e paciência.

À minha sobrinha Ana Clara, que sempre me motivou, pelo carinho e pelos momentos de descontração.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins e Prof. Dr. Claudemir Leif Tramarico por transmitirem seus conhecimentos e pela presença em todos os passos dessa caminhada.

Aos meus colegas de trabalho pelo auxílio em toda implantação do projeto dessa dissertação.

Aos meus amigos e familiares pelo apoio e por compreenderem a minha ausência em momentos de união nos quais eu não pude comparecer por dedicar tempo ao presente projeto.

RESUMO

Neste trabalho será apresentado um problema de priorização de entrega de cartões de uma instituição financeira brasileira. Neste contexto, o principal objetivo foi desenvolver um modelo matemático de priorização para o problema de entrega de cartões, de forma a programar as entregas de cartões de determinado fornecedor de acordo com o perfil de cada cliente solicitante de cartão. Uma formulação de Programação Linear Inteira foi proposta em conjunto com um cálculo auxiliar, cujo objetivo foi gerar uma pontuação de priorização de entrega para cada um dos clientes da instituição financeira analisada. O objetivo da formulação foi maximizar as pontuações dos clientes que deveriam ter seus cartões priorizados na entrega, respeitando algumas restrições, tal como capacidade de entrega do fornecedor. Os resultados mostraram melhoria nos indicadores acompanhados pela instituição, o que permite concluir que houve melhoria na experiência dos clientes. Trabalhos futuros envolvem estender o modelo aplicado apenas a um fornecedor aos múltiplos fornecedores da empresa financeira, além de aprimorar os critérios utilizados no processo de definição do perfil dos clientes.

PALAVRAS-CHAVE: Problema de *scheduling*. Problema de entrega. Programação linear inteira.

ABSTRACT

In this work, a problem of prioritizing the delivery of cards in a Brazilian financial institution will be presented. In this context, the main objective was to develop a mathematical prioritization model for the card delivery problem, in order to schedule the delivery of cards from a given supplier according to the profile of each customer requesting a card. An Integer Linear Programming formulation was proposed together with an auxiliary calculation, whose objective was to generate a delivery prioritization score for each of the clients of the analyzed financial institution. The objective of the formulation was to maximize the scores of customers who should have their cards prioritized upon delivery, respecting some restrictions, such as the supplier's delivery capacity. The results showed improvement in the indicators monitored by the institution, which allows us to conclude that there was an improvement in the customers' experience. Future work involves extending the model applied only to one supplier to multiple suppliers of the financial company, in addition to improving the criteria used in the process of defining the profile of customers.

KEYWORDS: Scheduling problems. Delivery Problem. Integer linear programming.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxo da Pesquisa.	17
Figura 2 – Elementos Básicos da Logística.	25
Figura 3 – Fluxos logísticos.	26
Figura 4 – Fluxo Logística Cartões.	41
Figura 5 – Fluxo Cartões Produzidos para Estoque.	42
Figura 6 – Diagrama de Ishikawa do problema na produção de cartões.	43
Figura 7 – Diagrama de Ishikawa do problema na entrega de cartões.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo por fornecedor de entrega	46
Tabela 2 – Pontuação da amostra de cartões	52
Tabela 3 – Localidade dos Cartões	53
Tabela 4 – Capacidade de entrega diária	53
Tabela 5 – Capacidade de entrega diária total	58
Tabela 6 – Distribuição cartões pendentes	59
Tabela 7 – Priorização por região	60
Tabela 8 – Quantidade de cartões priorizados por pontuação	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo da pesquisa bibliográfica.	15
Quadro 2 – Análise bibliométrica <i>scheduling</i> ou <i>scheduling e delivery</i>	19
Quadro 3 – Análise bibliométrica <i>Delivery Problem + scheduling</i>	22
Quadro 4 – Tipo de Problema de Entrega	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização e questão de pesquisa	13
1.2	Objetivos, Delimitação e Justificativa	14
1.2.1	Objetivos	14
1.2.2	Delimitação	15
1.2.3	Justificativa	15
1.3	Método de pesquisa	16
1.3.1	Classificação da pesquisa	16
1.3.2	Objeto de estudo	17
1.4	Estrutura do trabalho	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1	Logística	24
2.2	Problema de Entrega	26
2.3	<i>Scheduling</i>	34
3	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	41
3.1	Situação atual	41
3.2	Características dos fornecedores	44
3.2.1	Fornecedores de produção de cartão	45
3.2.2	Fornecedores de entrega de cartão	45
3.3	Demais atributos do problema	46
3.3.1	Desbloqueio	46
3.3.2	Reclamação	47
3.3.3	Emissão Sucessiva	47
3.3.4	Cientes críticos	48
3.3.5	<i>Net Promoter Score</i>	48
4	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	50
4.1	Premissas	50
4.2	Cálculo Auxiliar	50
4.3	Programação da entrega	51
4.4	Experimentos e Resultados Preliminares	52
4.5	Implementação e análise dos resultados	54
5	CONCLUSÕES	62
5.1	Verificação dos objetivos e resposta à questão de pesquisa	62
5.2	Contribuições do trabalho	62

5.3	Sugestões para continuidade da pesquisa	62
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E QUESTÃO DE PESQUISA

O mercado bancário brasileiro posiciona-se como um setor consolidado no Brasil, onde três dos quarenta e três maiores bancos do mundo estão situados, segundo Salomão (2016). Além disso, 89,8% dos brasileiros estão bancarizados, ou seja, possuem acesso popular a bancos (FEBRABAN, 2015).

Apesar dessa consolidação, as empresas do setor devem sempre rever suas estratégias, se reinventarem, buscando criar vantagem competitiva sobre seus concorrentes. Uma forma de buscar esta vantagem competitiva concentra-se na inovação, que é vista como um processo de criação do novo, de maneira a capacitar a empresa a superar a concorrência, estabelecendo uma situação de monopólio temporário ao criar um novo mercado para seus produtos (FRIÓSI et al., 2017).

Além disso, o mundo tecnológico tem alterado o comportamento de diversos mercados, inclusive o financeiro. Com a chegada das *Fintechs* veio à tona a busca por novas alternativas que diminuam processos burocráticos encontrados no setor financeiro, principalmente no segmento bancário (FINNOVATION, 2015)

Os avanços tecnológicos dos últimos tempos, como a digitalização, a ampliação do uso da internet e o surgimento das *Fintechs*, trouxeram maior relevância para a compreensão dos direcionadores da satisfação dos consumidores (AKSOY et al., 2017). O interesse acadêmico e empresarial quanto às experiências do consumidor no contato com instituições emergiu do crescimento da diversidade de pontos de contato entre as empresas e os seus clientes, resultado de jornadas de consumo mais complexas (BRYNJOLFSSON; HU; RAHMAN, 2013).

Visando acompanhar os avanços tecnológicos e equilibrar os custos dos serviços ofertados, bem como melhorar a experiência dos clientes, os bancos precisam diferenciar seus serviços logísticos, ou seja, não devem apresentar um serviço padronizado de logística quando atingem um mercado em que existem características diversificadas de clientes (DIZARÓ Jr; DIAS, 2012).

Dentre os diversos serviços prestados pelos bancos e *Fintechs*, o cartão é um serviço de intermediação financeira que possibilita a aquisição de bens e serviços em estabelecimentos comerciais credenciados, em que o valor de sua compra é pago através do desconto direto em conta corrente ou por meio de uma fatura com data de vencimento pré determinada pelo usuário na data da contratação, com a possibilidade de parcelamento das compras (DIZARÓ Jr; DIAS, 2012).

Segundo Chacon (2017), foram transacionados 1,36 trilhões de reais com cartões em 2017 se tornando o meio de pagamento preferido dos brasileiros pois superou, pela primeira vez, a quantia de saques e cheques compensados.

Devido a relevância atual do produto, a melhoria do processo de planejamento da produção e entrega de cartões pode se encaixar na revisão das estratégias e na busca de vantagem competitiva citadas anteriormente. A revisão do processo de envio de cartões insere-se dentro da classe de problemas de entrega e problemas de (*scheduling*, uma vez que consiste na busca de um método eficiente para gerenciar a entrega do produto e na alocação de recursos para execução de tarefas em determinado intervalo de tempo (MAIOLO, 2019).

Os problemas de *scheduling* estão amplamente difundidos em diversas atividades industriais, uma vez que a utilização eficiente dos recursos disponíveis e o cumprimento dos prazos acordados com os clientes tornam-se fatores fundamentais para a sobrevivência das empresas no atual mundo globalizado (GUIMARÃES, 2017).

De maneira generalista, pode-se definir problemas de *scheduling* como a necessidade de alocação de recursos e atividades, respeitando determinadas restrições, de maneira ótima ao longo do tempo (PINEDO, 2002). Há uma enorme gama de atividades onde tais tipos de problemas estão presentes, dentre as quais, pode-se citar: agendamento de navio em portos, programação da produção em fábricas, programação de etapas de produção na construção civil, agendamento de atendimento de clientes em uma fila, sequenciamento de despacho de produtos em centros de distribuição e agendamento de alocação de aeronaves em portões de embarque (MAIOLO, 2019).

Dentre as possíveis funções objetivo dos problemas de *scheduling*, pode-se destacar: a minimização do tempo de atraso ou a minimização do tempo de espera (LEUNG, 2004); maximização do lucro (CHEN et al., 2015); minimização dos custos (YUE; WAN, 2017; PARK; HONG, 2009); maximização da satisfação dos clientes (VIERGUTZ; KNUST, 2014); minimização do tempo de entrega do produto (CHANG; LI; CHIANG, 2013); dentre outros.

Visando melhorar a experiência dos clientes que solicitam cartões administrados por uma instituição financeira brasileira, este trabalho teve por objetivo revisar o processo de entrega de cartões. Neste sentido, foi criado um modelo de agendamento de entrega de cartões que leve em consideração alguns aspectos relacionados ao perfil do cliente, de forma a impactar positivamente na experiência do mesmo e, ao mesmo tempo, não acarretar em impactos negativos no custo total de entrega de cartões aos clientes.

Sabendo que determinada instituição bancária produz aproximadamente 3 milhões de cartões por mês e que, de acordo com Pinedo (2002), os problemas de *scheduling* referem-se aos procedimentos de alocação, num determinado período de tempo, de recursos limitados para executar o processamento de tarefas, o presente trabalho visa solucionar a seguinte situação: como melhorar a experiência dos clientes quanto ao recebimento dos cartões por meio de uma melhoria na entrega dos mesmos?

1.2 OBJETIVOS, DELIMITAÇÃO E JUSTIFICATIVA

1.2.1 Objetivos

O objetivo geral desta dissertação foi desenvolver um modelo de priorização para o problema de entrega de cartões produzidos por uma instituição financeira brasileira considerando o perfil do cliente.

Os objetivos específicos para a instituição financeira que foi objeto do estudo incluíram:

- Elaborar um modelo matemático e um procedimento de priorização para o problema citado;
- Testar e validar o modelo;
- Implementar o modelo e identificar os impactos gerenciais da sua aplicação no caso real em questão.

1.2.2 Delimitação

O trabalho se limitou as melhorias nos processos de entrega de cartões de crédito, débito, múltiplo e pré pago da área denominada “Logística de Cartões” de uma determinada instituição financeira brasileira.

1.2.3 Justificativa

Foi realizado um mapeamento quanto à publicação de artigos que tratam sobre *scheduling*. Para levantamento das publicações foram utilizadas as bases de dados *Scopus* e *Web of Science* e a busca pela palavra chave *scheduling* resultou em aproximadamente noventa mil artigos entre os anos de 2013 e 2021. Posteriormente, o termo *delivery* foi adicionado à pesquisa, juntamente do termo *scheduling*, e os resultados da pesquisa nas referidas bases de dados caíram para pouco mais de quatro mil artigos. Tais problemas tratam sobre programação da produção e levam em consideração restrições referentes a entrega.

Por fim, a pesquisa foi realizada com os termos *scheduling* e *delivery problem* nas mesmas bases de dados, resultando em pouco mais de cem artigos publicados nos últimos oito anos. Estes problemas focam em solucionar problemas de entregas que possuem uma programação ou agendamento para entrega.

O Quadro 1 resume a pesquisa na literatura.

Quadro 1 – Resumo da pesquisa bibliográfica.

Palavras chave	Total de artigos (mil)	Total Analisado
<i>Scheduling</i>	90	47
<i>Scheduling e Delivery</i>	4	25
<i>Scheduling e Delivery Problem</i>	0,1	21

Fonte: Produzido pelo autor.

Uma amostra de tais artigos científicos com as palavras *scheduling* e *delivery* foi obtida e os mesmos foram lidos e catalogados por:

- Autores e ano da publicação;
- Método utilizado para resolução do problema;
- Objetivo principal da publicação;
- Se trata-se de um problema integrado de programação da produção e distribuição;
- Se os autores encontraram efetividade no uso de métodos não exatos.

Dentre os vinte e cinco trabalhos da amostra capturada de artigos com *scheduling* e *delivery*, os problemas foram comumente encontrados com aplicação em setores industriais. Foram encontrados apenas três trabalhos com aplicação no setor de serviços e nenhum deles aplicado ao setor bancário.

A revisão da literatura indica que os benefícios do *scheduling* incluem minimizar o tempo de atraso ou o tempo de espera (LEUNG, 2004), maximizar lucro (CHEN et al., 2015); minimizar custos (YUE; WAN, 2017; PARK; HONG, 2009), maximizar satisfação dos clientes (VIERGUTZ; KNUST, 2014) e minimizar o tempo de entrega do produto (CHANG; LI; CHIANG, 2013).

No Quadro 2 tem-se o resumo do estudo bibliométrico realizado com as buscas, em bases de dados anteriormente citadas, pelos termos *scheduling* ou *scheduling e delivery*.

O principal objetivo encontrado pelas buscas a partir do termo *delivery problem* com *scheduling* envolve minimizar custos, conforme pode ser observado nos trabalhos de Juliandri, Mawengkang e Bu'ulolo (2018), Wang (2018) e Ali, Côte e Coelho (2021), dentre outros. Porém, também foram encontrados trabalhos com outros objetivos. No Quadro 3 tem-se o resumo dos vinte e um artigos, encontrados através da busca pelo termo *delivery problem* com *scheduling*, selecionados e analisados, catalogados por:

- Autores e ano da publicação;
- Método utilizado para resolução do problema;
- Objetivo principal da publicação;
- Qual tipo de Problema de entrega se trata.

Além disso, a Quadro 4 traz uma legenda quanto aos tipos de problemas de entrega encontrados na literatura.

O problema estudado trata-se de uma variação do problema de *scheduling*, uma vez que o sequenciamento da entrega tem por objetivo melhorar a experiência dos clientes em relação ao recebimento do produto. Apesar de se tratar de um problema de programação da entrega (*scheduling*), não foi encontrado, em literatura, alguma situação em que a programação ocorra na etapa de entrega, conforme aprofundamento do Capítulo 2. Sendo assim, a contribuição principal deste trabalho é propor um modelo de agendamento da entrega utilizando como base os conceitos de *scheduling* e *Delivery Problem* descritos na literatura.

1.3 MÉTODO DE PESQUISA

1.3.1 Classificação da pesquisa

Esta pesquisa está direcionada a problemas específicos de organizações financeiras e, desta forma, quanto a natureza, a mesma classifica-se como aplicada. Quanto a abordagem, a proposta metodológica desta pesquisa pode ser caracterizada como quantitativa pois proporcionou identificação das variáveis e aplicação de um modelo (MIGUEL et al., 2018) uma vez que busca desenvolver um modelo de otimização para o problema de agendamento de entregas de cartões produzidos por uma instituição financeira brasileira levando em consideração o perfil dos cliente.

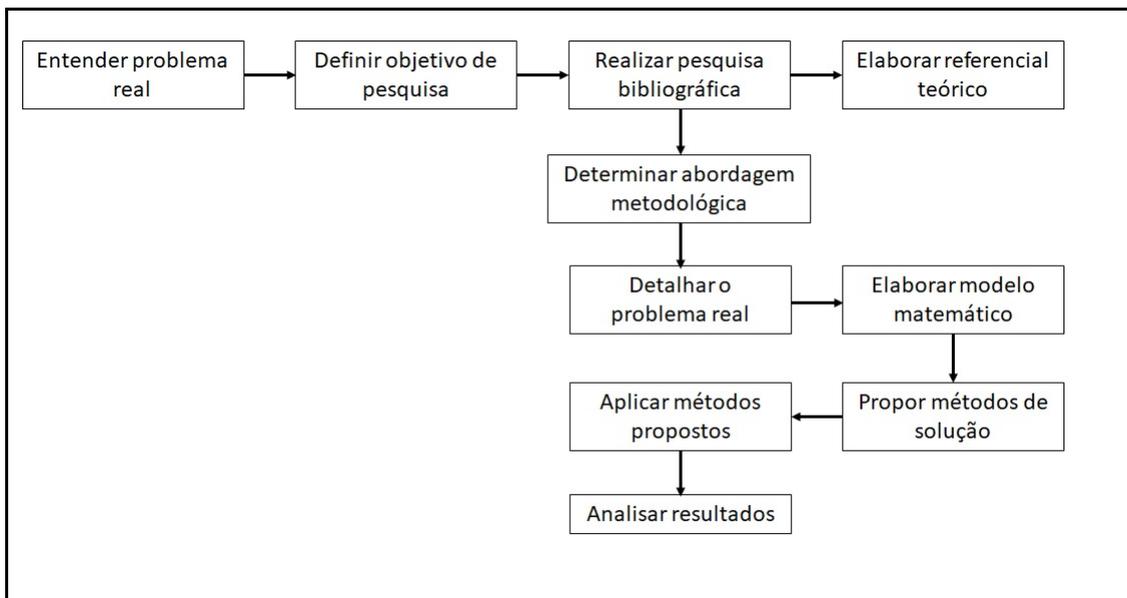
Mais especificamente, tratou-se de uma pesquisa empírica normativa, uma vez que o interesse principal foi criar um modelo que se adequasse às relações causais existentes em um problema real. A pesquisa empírica preocupa-se em testar processos reais, com a validade dos modelos científicos

obtidos pela pesquisa teórica quantitativa, ou seja, essa linha de pesquisa reporta aplicações dos resultados de pesquisa teórica em processos reais (MIGUEL et al., 2018).

Por fim, quanto aos procedimentos, esta pesquisa pôde ser caracterizada como modelagem, pois a utilização de modelos permitiu compreender o ambiente em questão, identificar e formular o problema e sistematizar o processo de tomada de decisão (MIGUEL et al., 2018).

O fluxo da pesquisa é ilustrado na Figura 1. O fluxo iniciou-se com o entendimento do problema real e com a definição dos objetivos. Em seguida, foi realizada a pesquisa bibliográfica e a elaboração do referencial teórico para explorar como o problema vem sendo tratado na literatura. Em tempo, foi determinado a abordagem metodológica, conforme descrito nesta seção. No Capítulo 3 foi descrita detalhadamente todas as características atuais do problema real. Em seguida foi elaborado o modelo matemático para otimização do problema citado e também foi proposto um método para solução do mesmo, além da aplicação de tal método ao problema real. Por fim, foi realizada a análise dos resultados e as considerações finais.

Figura 1 – Fluxo da Pesquisa.



Fonte: Produzido pelo autor

1.3.2 Objeto de estudo

Quando se analisa o mercado bancário brasileiro percebe-se que, dado à similaridade existente entre os produtos e serviços oferecidos, podendo ser considerados praticamente como *commodities*, o diferencial para o cliente passa a ser baseado na qualidade e completude dos serviços prestados (BORGES NETO, 2018).

A instituição financeira objeto deste trabalho pertence ao setor bancário e é uma das maiores no mercado brasileiro, além de possuir atuação no exterior.

Foram transacionados 1,36 trilhões de reais com cartões em 2017, segundo Chacon (2017). Somente a instituição financeira objeto deste trabalho, possui uma variedade de cerca de 500 tipos de cartões que totalizam mensalmente uma produção e entrega de aproximadamente de 3 milhões de cartões.

Atualmente a etapa de produção dos cartões se encontra otimizada de forma que os cartões solicitados pelos clientes são produzidos em um curto espaço de tempo. O maior gargalo encontra-se na etapa de entrega pois os cartões produzidos são coletados e possuem um tempo de entrega variável de acordo com a região.

Aspirando a melhoria da experiência dos clientes, pretende-se melhorar o tempo de entrega do produto por meio do desenvolvimento de um modelo de priorização da entrega de cartões que considere o perfil do cliente e sem ocasionar em impactos negativos no custo total do processo. Isso classifica o problema real como um problema de *scheduling*. Além disso, os conceitos levantados quanto ao *delivery problem* também são importantes dado que a etapa a ser "programada" é justamente a etapa de entrega.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada em mais quatro capítulos. No Capítulo 2 está a fundamentação teórica do trabalho com os conceitos e técnicas utilizadas. No Capítulo 3 apresenta-se a empresa estudada e o problema tratado. No Capítulo 4 está a formulação matemática para a resolução do problema bem como os resultados encontrados. O Capítulo 5 resume as conclusões e trabalho futuros. Finalmente, apresenta-se as referências bibliográficas utilizadas neste texto.

Quadro 2 – Análise bibliométrica *scheduling* ou *scheduling e delivery*

Autores	Método	Objetivo	Modelo Integrado	Teve efetividade no método não exato
Dormer, Gunther e Gujjula (2013)	Heurística	Minimizar a variabilidade da carga de trabalho	Não	Sim
Chen et al. (2015)	Programação Linear	Maximizar o lucro	Não	-
Yue e Wan (2017)	Branch and Baund e também três algoritmos de busca Tabu	Minimizar os custos totais para cumprimento das datas acordadas	Não	Sim
Du, Kong e Hu (2019)	Heurística de agendamento sequencial iterativa	Planejar cronogramas de produção e roteamento	Não	Sim
He, Dong e Zhao (2020)	NSGA-III	Minimizar a reprogramação da produção	Não	Sim
Jin, Luo e D.Eksioglu (2008)	Programação linear inteira mista	Impacto da integração do sequenciamento da produção e do planejamento logístico no nível operacional	Sim	-
Parke e Hong (2009)	Programação linear inteira mista e um algoritmo genético híbrido	Minimizar custo total de produção e distribuição	Sim	Sim
Mohammadi, Hashem e Rekik (2020)	Multi-objetivo inteiro misto e HPSO (Hybrid Particle Swarm Optimization)	Minimizar custo total de produção e distribuição	Sim	Sim
Viergutz e Knust (2014)	Branch and Baund	Maximizar a satisfação total da demanda	Sim	-
Yin et al. (2016)	Programação linear inteira mista e algoritmo de programação dinâmica pseudo-polinomial	Determinar um cronograma de trabalho de atividades e minimizar o tempo de conclusão de atividades	Sim	Sim
Lee e Fu (2017)	Programação Linear	Minimizar o custo de produção e estoque	Sim	-

Chang, Li e Chiang (2013)	Otimização de colônia de formigas (<i>ant colony optimization</i> – ACO)	Minimizar tempo total de entrega do trabalho e o custo total da distribuição	Sim	Sim
Guo et al. (2016)	Programação não linear inteira mista	Minimizar o custo total da cadeia de suprimentos	Sim	-
Azadian, Murat e Chinnam (2015)	Programação dinâmica exata e uma abordagem heurística	Minimizar o custo total do atendimento de pedidos	Sim	Sim
Wang e Lei (2015)	Programação dinâmica exata e uma heurística de relaxamento parcial	Minimizar o custo total	Sim	Sim
He, Guo e Wang (2019)	Algoritmo memético integrado à procedimentos heurísticos	Minimizar o custo total de produção e distribuição	Sim	Sim
Li e Li (2014)	Algoritmo em tempo polinomial	Minimizar o total de pedidos atrasados e também o número de veículos utilizados	Sim	-
Wang et al. (2019)	Programação linear inteira mista e três métodos heurísticos	Minimizar o tempo máximo de conclusão da entrega	Sim	Sim
Prasetyaningsih et al. (2017)	Programação não linear inteira e um algoritmo heurístico	Minimizar custo total de produção e distribuição	Sim	Sim
Fateme Marandi e Fatemi Ghomi (2019)	Programação linear inteira mista	Minimizar custos de transporte, atraso e retenção	Sim	Sim
Jun Zhang, Xuping Wang e Xuping Wang (2018)	Algoritmo on-line 4-competitive	Minimizar custo total	Sim	Sim
Liang-Liang Fu, Mohamed Ali Aloulou e Christian Artigues (2018)	Algoritmo branch and bound	Minimizar o custo de transporte	Sim	-

Taghizadehalvandie e Ozturk (2019)	Programação Linear	Equilibrar as cargas de trabalho entre os funcionários	-	-
Agrali, Taskin e Ünal (2017)	Programação linear inteira mista	Minimizar os serviços não satisfatórios, maximizar a utilização das horas contratadas, maximizar a satisfação dos funcionários e maximizar o equilíbrio entre os funcionários quanto aos dias trabalhados em feriados	-	-
Luiz Michel Aram Maiolo (2019)	Algoritmo genético baseado em aspectos do NSGA-II	Minimizar alocação de aeronaves em <i>gates</i> remotos, minimizar a soma dos atrasos de decolagem das aeronaves e minimizar a distância total percorrida pelos passageiros	-	Sim

Fonte: Produzido pelo autor

Quadro 3 – Análise bibliométrica *Delivery Problem + scheduling*

Autores	Modelo e método de solução	Objetivo	Tipo
Dedy Juliandri, Herman Mawengkang e F. Bu'ulolo (2018)	Programação linear inteira mista	Minimizar os custos gerais de todas as rotas	VRPTW
Zheng Wang (2018)	Heurística de busca de vizinhanças	Minimizar custos	VRPTW
Mika Barus, Habib Asyrafy, Esther Nababan e Herman Mawengkang (2018)	Programação não Polinomial com método heurístico	Minimizar custos e distancia total percorrida	VRP
Jun Zhang, Xueyan Zhang e Yanfang Zhang (2021)	Algoritmo <i>Online</i>	Minimizar o tempo de conclusão e o custo total	VRP
Michelle Dunbar, Simon Belieres, Nagesh Shukla, Mehrdad Amirghasemi, Pascal Perez e Nishikant Mishra (2020)	Algoritmo genético	Minimizar tempo de conclusão	VRP
Shijin Wang, Ruochen Wu, Feng Chu e Jianbo Yu (2019)	Algoritmo de entrega truck-drones híbrido	Minimizar o tempo conclusão de entrega	VRP
Yun-qi Han, Jun-qing Li, Zhengmin Liu, Chuang Liu e Jie Tian (2020)	Algoritmo aprimorado de colônia de abelhas	Minimizar consumo total de energia e o número total de caminhões	VRPTW
Asefeh Hasani Goodarzi, Reza Tavakkoli-Moghaddam e Alireza Amini (2020)	Programação linear inteira mista multi-objetiva	Minimizar o custo operacional total e a soma da antecipação e do atraso máximos	VRPDP
Ousmane Ali, Jean-François Côté, Leandro Coelho (2021)	MILP resolvido com algoritmo branch-and-bound	Minimizar custos com transportes	VRPTW
C. Hu, J. Lu, X. Liu e G. Zhang (2018)	Heurística de busca de vizinhança variável adaptativa modificada	Minimizar o número total de rotas de veículos e distancia total das viagens	VRPTW
Michael Drexel (2020)	Algoritmo adaptativo de busca de grande vizinhança	Minimizar custos	PDP
Yang Wang, Mengyu Bi e Yanyan Chen (2020)	Modelo de programação inteiro não linear	Minimizar custo operacional	PDP
Montané, Ferreira e Galvão (1997)	Heurísticas de busca local	Minimizar os custos de transporte	EDP

Yosuke Takada, Masaru Shimazaki, Yannan Hu e Mutsunori Yagiura (2020)	Programação dinâmica	Minimizar a distância total das rotas	SPDPTW
Pietro dos Santos, Endel Kretschmann, Denis Borenstein e Pablo Guedes (2020)	Programação linear inteira mista	Minimizar custo das rotas viáveis	PDP
Afonso Sampaio, Martin Savelsbergh, Lucas P. Veelenturf e Tom Van Woensel (2020)	Algoritmo de busca de vizinhança adaptável	Minimizar distancia percorrida e número de motoristas necessários	PDP
Denise Yamashita, Bruno Jensen Virginio da Silva, Reinaldo Morabito e Paulo César Ribas (2019)	Heurística multi-start	Minimizar os custos de transporte e reduzir o número de atracções	PDP
Veaceslav Ghilas, Jean-François Cordeau, Emrah Demir e Tom Van Woensel (2018)	Algoritmo <i>branch-and-price</i>	Minimizar custo total	PDPTW-SL
Phuong Khanh Nguyen, Teodor Gabriel Crainic e Michel Toulouse (2017)	Algoritmos de busca tabu e busca de vizinhanças direcionadas	Minimizar custo total	MT-PDPTWS
Yong Shi, Yanjie Zhou, Toufik Boudouh and Olivier Grunder (2020)	Algoritmo de busca de vizinhança variável	Minimizar o número de veículos e as distancias percorridas	VRPSPD-TW
Chongshou Li, Lijun Gong, Zhixing Luo e Andrew Lim (2019)	Algoritmo <i>branch-and-price-and-cut</i>	Minimizar a distancia total de viagem e o custo de manuseio	VRPDP

Fonte: Produzido pelo autor

Quadro 4 – Tipo de Problema de Entrega

Sigla	Descrição
VRP	Problema de Roteamento de Veículos
VRPTW	Problema de Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo
VRPDP	Problema de Coleta e Entrega com Roteamento de Veículos
PDP	Problema de Coleta e Entrega
SPDPTW	Problema de Coleta e Entrega Simultâneas com Janelas de Tempo
PDPTW-SL	Problema de Coleta e Entrega com Janelas de Tempo e Linhas Programadas
MT-PDPTWS	Problema de Coleta e Entrega de Várias Viagens com Janelas de Tempo e Sincronização
VRPSPD-TW	Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultâneas e Janela de Tempo
EDP	Problema de Entrega Expressa

Fonte: Produzido pelo autor

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O objetivo deste capítulo é apresentar a revisão bibliográfica quanto aos conceitos de logística, entrega e agendamento (*scheduling*) que são bases da literatura para o problema real tratado nessa dissertação.

2.1 LOGÍSTICA

A logística é um processo de gerenciamento estratégico da aquisição, da movimentação, da armazenagem de materiais, como peças e produtos finalizados, assim como dos fluxos e informações entre a organização e seus parceiros. O planejamento e controle do estoque dos diversos materiais da organização e sua logística, podem ser fonte de vantagem competitiva para as organizações (POZO, 2007).

Quanto à Logística, Ferraes e Junior (2002) afirmam que esta é a junção de quatro atividades básicas: as de aquisição, movimentação, armazenagem e entrega de produtos. Para que essas atividades funcionem corretamente, é necessário que as atividades de planejamento logístico, sendo elas de materiais ou de processos, estejam inteiramente relacionadas com as funções de manufatura e marketing.

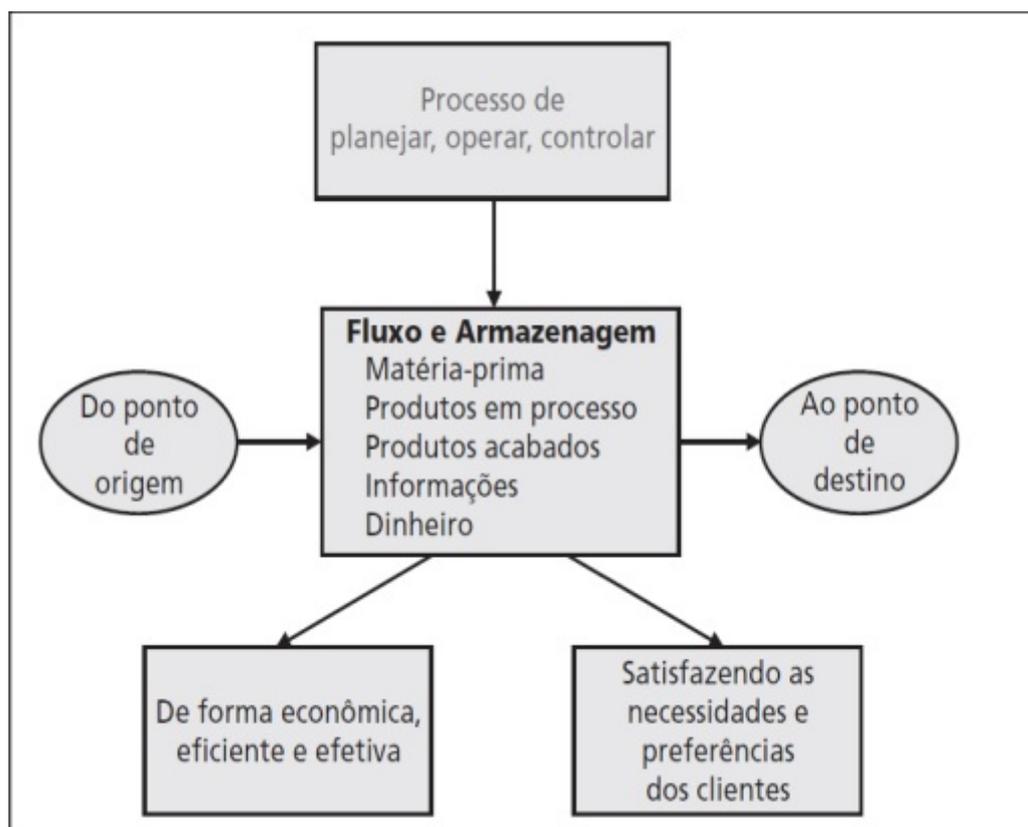
Novaes (2007) afirma que a Logística Empresarial possibilita geração de valor de lugar, de tempo, de qualidade e de informação à cadeia produtiva e procura também eliminar do processo tudo que não tenha valor para o cliente, ou seja, tudo que gera somente custos e perda de tempo. Bertaglia (2016) complementa essa definição afirmando que um dos objetivos mais importantes na logística da empresa é a otimização da distribuição de mercadorias considerando toda a cadeia de valor.

Na Figura 2 são apresentados os principais elementos conceituais da Logística. A Logística é iniciada pelo estudo e a planificação do projeto ou do processo a ser implementado, após isso começa a fase de implementação e operação. Todo sistema logístico precisa ser avaliado, monitorado e controlado.

Os fluxos logísticos devem ter como objetivo fundamental atender as necessidades e preferências dos clientes. Cada elemento da cadeia de informações é também cliente de seus fornecedores, portanto precisa conhecer as necessidades de todos os materiais do processo, com finalidade de buscar uma satisfação de demanda. De acordo com Novaes (2007), a moderna Logística procura incorporar:

- Prazos previamente acertados e cumpridos, em toda a cadeia de suprimento;
- Integração efetiva entre todos os setores da empresa;
- Integração efetiva e em parcerias com fornecedores e clientes;
- Otimização global, envolvendo a racionalização dos processos e a redução de custos em toda a cadeia de suprimento;
- Satisfação plena do cliente, mantendo nível de serviço programado e adequado.

Figura 2 – Elementos Básicos da Logística.



Fonte: (NOVAES, 2007), p.36

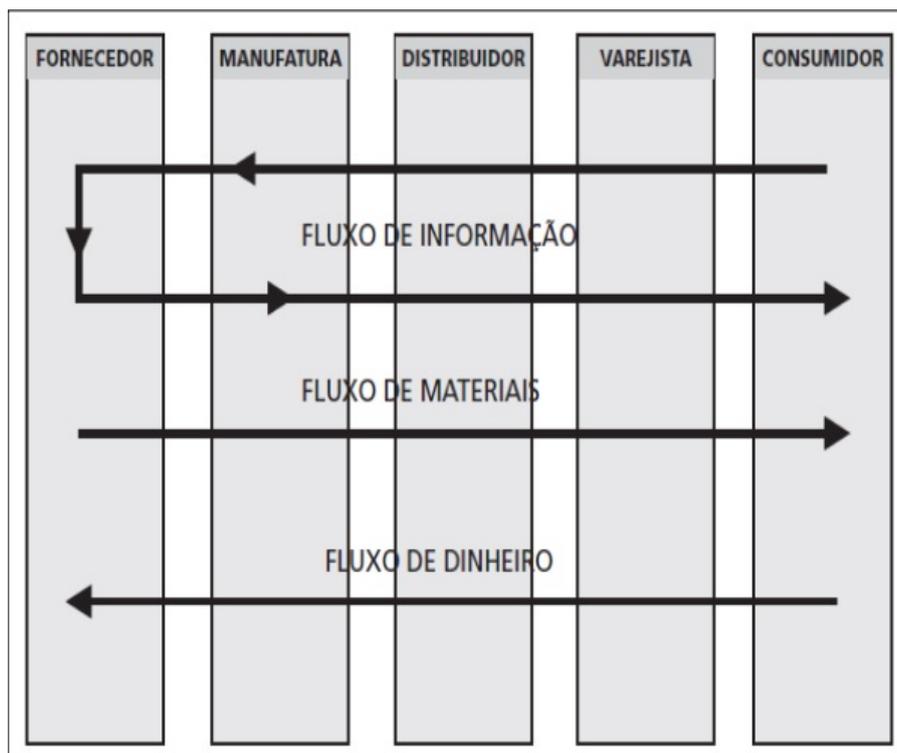
A Figura 3 apresenta os fluxos logísticos, ou seja, o caminho que o fluxo de informação, fluxo de materiais e fluxo de dinheiro percorrem dentro de um ambiente fabril, desde o fornecedor até o consumidor final.

A entrada, no mercado varejista brasileiro, de grandes empresas multinacionais, que oferecem melhores serviços de logística e agregam valor diretamente na qualidade dos produtos ofertados, mediante uma cadeia de suprimentos mais enxuta e mais rentável para as instituições empresariais, impactou negativamente o mercado das empresas varejistas brasileiras, que utilizam ainda métodos arcaicos e mão de obra desqualificada em suas operações e processos (SILVA; FREITAG, 2020).

Silva e Freitag (2020) apresentaram uma proposta conceitual da utilização da logística como diferencial competitivo nas organizações varejistas, considerando as melhores práticas de gestão para o setor logístico. Como método, os autores adotaram uma revisão sistemática da literatura que permitiu a identificação de 94 registros, dos quais 12 foram incluídos na revisão da literatura, por sua aderência à temática pesquisada. O principal resultado foi a elaboração de uma proposta conceitual de utilização da logística como diferencial competitivo nas organizações varejistas, englobando cinco vertentes:

- Sistemas da Informação;
- Aplicação de indicadores-chave de desempenhos (KPI, do inglês *key performance indicator*) alinhados aos Objetivos Estratégicos da Organização;

Figura 3 – Fluxos logísticos.



Fonte: (NOVAES, 2007), p.37

- Criação de Valor para os Produtos;
- Conceito Gerencial Moderno;
- Necessidade das Organizações reconhecerem os Benefícios e Vantagens da Logística.

Devido a um aumento nas estratégias de serviço orientadas ao cliente, projetadas para atender às necessidades mais complexas e exigentes do cliente, atender a um prazo de entrega programado também tornou-se uma parte importante das atividades logísticas em relação ao projeto de rotas de veículos. No entanto a incerteza nos tempos de viagem e na demanda do cliente muitas vezes significa que os veículos perdem os prazos acordados, aumentando os custos do serviço e diminuindo a satisfação do cliente (HU et al., 2018)

2.2 PROBLEMA DE ENTREGA

O problema de entrega ou problema de roteamento de veículos (VRP, do inglês *Vehicle Routing Problem*) introduzido por Dantzig e Hamser (1959), tem como objetivo definir rotas entre um depósito e um conjunto de pontos de entrega que minimize o número de veículos, a distância percorrida ou tempo. Trata-se de um elemento importante de muitos sistemas logísticos que envolvem o roteamento e programação de veículos de um depósito para um conjunto de clientes (JULIANDRI; MAWENKANG; BU'ULOLO, 2018).

Um outro problema bastante abordado na literatura é o Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo (VRPTW, do inglês *Vehicle Routing Problem With Time Windows*) que inclui um intervalo de tempo para começar e terminar o atendimento no consumidor e ainda um intervalo para saída e retorno ao depósito (ALVARENGA, 2005).

Já o Problema de Coleta e Entrega (PDP, do inglês *Pickup and Delivery Problem*) é um problema onde o transporte de cargas é feito entre consumidores. No PDP cada demanda de coleta possui informações sobre a carga total a ser coletada pelo veículo e o destino dessa carga. As demandas de entrega possuem informações sobre a carga total a ser entregue e a origem da carga. Todos os veículos, então, partem de um depósito para satisfazer as demandas e retornam novamente ao depósito finalizando o trajeto (SAVELSBERGH; SOL, 1995).

O Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega (VRPPD, do inglês *Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery*) é uma extensão do Problema de Coleta e Entrega. Em ambos as cargas são transportada entre pontos de coleta e entrega, mas no VRPPD uma carga coletada pode ser utilizada para satisfazer qualquer demanda de entrega (HERNADEZ-PEREZ; SALAZAR-GONZALES, 2004).

O Problema de Entrega Expressa (EDP, do inglês *Express Delivery Problem*) foi proposto por Montané, Ferreira e Galvão (1997), a fim de resolver problemas de entrega aérea expressa. Ele é um outro problema com demandas de coleta e entrega. Neste caso, o atendimento da demanda é composto por duas fases: fase de coleta e fase de entrega. Essas fases não necessariamente coincidem. Uma rota é definida entre as cidades onde existem demandas de coleta e todas elas são agrupadas em um carregamento. Depois de efetuadas todas as coletas, o carregamento é encaminhado a um *hub*, que vem a ser um ponto intermediário que pode ser visto como o depósito definido no Problema de Roteamento de Veículos. No *hub* os carregamentos são desfeitos e as demandas de entrega são organizadas conforme a cidade destino. Uma nova rota é definida partindo do *hub* até as cidades (pontos de demanda de entrega).

Os próximos parágrafos apresentam problemas tratados na literatura que envolvem os conceitos dos problemas de roteamento de veículos e de coleta e entrega descritos e também outras variações mais complexas desses mesmos problemas.

Juliandri, Mawengkang e Bu'ulolo (2018) abordaram um problema de otimização combinatória com o objetivo de encontrar um conjunto ideal de rotas usadas por uma frota de veículos para atender às demandas de um conjunto de clientes. Neste problema era necessário que esses veículos retornassem ao depósito após atender à demanda dos clientes e o problema incorporou janelas de tempo, agendamento de frota e motorista e coleta, bem como entrega no horizonte de planejamento. O propósito foi determinar o agendamento da frota e do motorista e as políticas de roteirização dos veículos e o objetivo foi minimizar os custos gerais de todas as rotas ao longo do horizonte de planejamento. Os autores modelaram o problema com programação linear inteira mista e desenvolveram uma combinação de heurísticas e método exato para resolver o modelo.

Wang (2018) estudou um problema de entrega de refeições enfrentado por alguns fornecedores de logística que precisam rotear veículos em várias viagens para pegar refeições em vários fornecedores e entregar aos clientes. Três tipos de serviços de logística foram investigados: serviço exclusivo e dois

novos serviços de compartilhamento. Os problemas de entrega pertencem amplamente a roteamento de várias viagens com janelas de tempo flexível e vários locais de recarga. O autor desenvolveu duas heurísticas: uma pesquisa local iterada e uma pesquisa adaptativa de grande vizinhança que foram aplicadas em instâncias do mundo real de grande porte e a análise gerencial mostrou que dois serviços compartilhados geralmente geram custos totais muito menores do que o serviço exclusivo.

Barus et al. (2018) examinaram o modelo de otimização de roteamento e programação do transporte marítimo que diz respeito ao transporte de navios que transportam petróleo bruto (petroleiros) e que é distribuído para várias ilhas. Os autores desenvolveram um modelo de roteamento e escalonamento levando em consideração algumas funções objetivo e restrições. A formulação do modelo matemático visou minimizar os custos com base na distância total percorrida pelo petroleiro e minimizar o custo dos portos e, para que o modelo fosse mais realista e o custo calculado mais apropriado, foi adicionado um parâmetro que indica que o fator multiplicador do custo aumenta à medida que a carga de petróleo bruto é preenchida.

O atendimento de pedidos online do supermercado enfrenta o desafio de como escolher pedidos de milhares de produtos nas prateleiras do supermercado e entregá-los aos clientes em diferentes zonas e locais por um método de roteamento de veículos com o menor custo e menor tempo. É fundamental integrar os processos de coleta e entrega de pedidos e programá-los de forma coordenada (ZHANG; ZHANG; ZHANG, 2021).

Zhang, Zhang e Zhang (2021) estudaram o problema de separação e entrega de pedidos integrados com o método de roteamento de várias zonas para minimizar o tempo máximo de conclusão da entrega e o custo total de entrega. Os resultados encontrados inferiram que o tempo médio de fluxo de pedidos dos clientes é inferior a 30 minutos, o que verifica o bom desempenho tanto na eficiência de cálculo quanto na satisfação do cliente.

Em complemento ao que foi citado em seção 2.1, as empresas de logística modernas exigem prazos de entrega cada vez mais curtos para atender à crescente popularidade dos serviços sob demanda. Consequentemente, há uma necessidade urgente de algoritmos de agendamento rápido para fornecer soluções implementáveis em tempo real de alta qualidade (DUNBAR et al., 2020).

Dunbar et al. (2020) modelaram um problema de entrega de peças sobressalentes para uma empresa de logística sob demanda, como uma variante do problema de roteamento de veículos. Os autores propuseram uma versão melhorada da abordagem de geração de coluna integrando um algoritmo genético eficiente para obter soluções rápidas e de alta qualidade para um problema de entrega sustentável de peças de reposição. Mais especificamente, propuseram manter o *framework* iterativo de geração de colunas tradicional, com o problema primário resolvido exatamente, mas com o subproblema de precificação resolvido usando uma meta-heurística. Os resultados computacionais em um conjunto de dados real indicaram que essa abordagem produz soluções aprimoradas em comparação com os custos atuais. Também diminuiu substancialmente o tempo computacional, permitindo que soluções tratáveis de alta qualidade fossem obtidas em poucos minutos.

A habilitação da tecnologia da Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*) inspirou um grande número de novas plataformas e aplicativos. Uma plataforma IoT popular são os veículos aéreos não tripulados, também conhecidos como *drones*. Beneficiando-se da flexibilidade, conveniência

e baixo custo, os *drones* têm grande potencial para serem utilizados em várias aplicações civis, incluindo entrega de encomendas. No entanto, possuem desvantagens quanto a capacidades de carga e bateria e também não são meios econômicos para realizar tarefas de entrega de encomenda de forma independente. Para superar essas desvantagens, é comum o emprego de caminhões e *drones* para construir sistemas de entrega de encomendas *truck-drones* (WANG et al., 2019).

Wang et al. (2019) avaliaram o emprego simultâneo de caminhões, *truck-drones* e *drones* independentes para construir um sistema de entrega de encomendas mais eficiente e afirmaram que esse sistema híbrido de entrega pode explorar totalmente os benefícios complementares das três plataformas. Os autores propuseram um novo algoritmo de roteamento e programação, conhecido como algoritmo de entrega *truck-drones* híbrido, para resolver o problema de entrega de encomendas em que M *drones* transportados por M caminhões, juntamente com N *drones* independentes, cooperam para entregar encomendas aos clientes distribuído em uma ampla região. Os resultados experimentais mostraram que o algoritmo supera as soluções existentes que empregam *drones* independentes ou somente *truck-drones*.

Ainda sobre o cenário de entregas especiais em que as mercadorias podem ser transportadas por *drones* devido sua relevância, Han et al. (2020) investigaram um problema de roteamento de veículos multi-objetivos com janela de tempo e restrições de transporte de *drones*. Os veículos são usados para transportar mercadorias para os locais do cliente, enquanto os *drones* são usados para transportar mercadorias verticalmente e em tempo hábil para o cliente. Três tipos de objetivos foram considerados simultaneamente: a minimização do consumo total de energia dos caminhões, consumo total de energia dos *drones* e o número total de caminhões. Um algoritmo aprimorado de colônia de abelhas foi projetado para resolver o problema. No algoritmo proposto pelos autores, cada solução foi representada por um vetor bidimensional e o método de inicialização foi baseado na Heurística de Inserção *Push-Forward*. Comparações experimentais com outros algoritmos eficientes da literatura confirmaram o desempenho competitivo do algoritmo de colônia de abelhas proposto.

Goodarzi, Tavakkoli-Moghaddam e Amini (2020) abordaram um problema de roteamento de veículos que considerou a programação de caminhões, dividindo pedidos de coleta e entrega com janelas de tempo em locais de fornecedores e varejistas, enquanto otimizava dois objetivos conflitantes: minimizar o custo operacional total e também a soma da antecipação e do atraso máximo. Um modelo de programação linear inteira mista multi-objetivo foi apresentada e um algoritmo meta-heurístico evolutivo foi proposto para resolver o problema. Os resultados numéricos indicaram a eficácia do algoritmo proposto em comparação com os algoritmos NSGA-II (*Non dominated sorting genetic algorithm*) e PAES (*Pareto archived evolution strategy*).

Ali, Côte e Coelho (2021) propuseram uma variante do problema de roteamento de veículos com janela de tempo em que se dispunha de duas frotas heterogêneas para atender os clientes; a primeira frota é responsável pelas entregas com possibilidade de instalação de produtos enquanto a segunda apenas realiza instalações.

No problema abordado por Ali, Côte e Coelho (2021), os clientes recebem os produtos podendo requerer um serviço de instalação que pode ser realizado pelo entregador ou por uma frota de instalação dedicada que precisa ser sincronizada com a entrega. Cada trabalhador (entregador ou instalador) possui habilidades diferentes e, portanto, tempos de instalação diferentes. Para resolver, os autores

formularam o problema como um modelo de programação linear inteira mista e o resolveram por meio de um algoritmo *branch and bound*. Também foi projetado uma heurística de busca de vizinhança para encontrar boas soluções rapidamente. Os autores provaram o desempenho de ambos os métodos nas instâncias de teste do VRP relacionado com múltiplas restrições de sincronização e do VRP com janelas de tempo, produzindo soluções de alta qualidade em um curto espaço de tempo usando a heurística e fornecendo novos limites inferiores com o método exato.

Em um esforço para encontrar uma solução que atendesse às necessidades de logística do mundo real, Hu et al. (2018) examinaram o problema de roteamento de veículos com janelas de tempo sob demanda e incerteza de tempo de viagem. Para resolver o problema, construíram um modelo de otimização robusto com base em novos conjuntos de incertezas dependentes de rota. Devido à natureza complexa do problema, o modelo robusto construído por Hu et al. (2018) só foi capaz de lidar com instâncias de pequeno porte usando solucionadores padrão. Portanto, para lidar com grandes instâncias, os autores projetaram um algoritmo de dois estágios baseado em uma heurística de busca de vizinhança variável adaptativa modificada. O primeiro estágio do algoritmo minimizou o número total de rotas de veículos, enquanto o segundo estágio minimizou a distância total de viagem. Extensos experimentos computacionais foram conduzidos com versões modificadas e os resultados numéricos mostram que o algoritmo de dois estágios proposto foi capaz de encontrar soluções ótimas para instâncias de pequeno porte e soluções robustas de boa qualidade para instâncias de grande porte com pouco aumento na distância total de viagem e / ou no número de veículos usados.

Drexl (2020) estudou uma extensão do problema de coleta e entrega um para um com janelas de tempo. Nessa situação, as solicitações de transporte de mercadorias desde a coleta até os locais de entrega deveriam ser atendidas por um conjunto de veículos com capacidade limitada, sujeito a restrições de janela de tempo. As mercadorias não são intercambiáveis: o que é coletado em um determinado local deve ser entregue em um outro local específico. A extensão discutida consistiu em considerar uma frota de veículos heterogênea composta por caminhões com *trailers* destacáveis que são vantajosos, pois aumentam a capacidade geral do veículo. No entanto, alguns locais podiam ser acessíveis apenas por caminhões. Portanto, Drexl (2020) propôs escolher locais especiais para que os *trailers* pudessem ser estacionados enquanto os caminhões visitavam locais com restrições de acessibilidade. Isso induz uma troca não trivial entre uma capacidade ampliada do veículo e a necessidade de programar desvios para estacionar e recolocar os *trailers*. Dessa forma, o autor estudou uma generalização praticamente relevante do problema da coleta e entrega um para um com janelas de tempo e desenvolveu um procedimento de tempo constante para testar a viabilidade de uma inserção de uma tarefa de transporte em uma determinada rota no que diz respeito a janelas de tempo e capacidades. Além disso, o autor realizou testes com um algoritmo adaptativo de busca de grande vizinhança.

O problema de coleta e entrega seletiva com restrições de janela de tempo (SPDPTW, do inglês *Selective Pickup and Delivery Problem with Time Window*) é um problema de encontrar rotas de veículos que coletam mercadorias nas lojas e as entregam aos clientes de modo a minimizar a distância total das rotas sob restrições de capacidade e tempo (TAKADA et al., 2020).

Com base no conceito descrito acima, Takada et al. (2020) projetaram um método de busca local para este problema de modo que a distância total percorrida fosse minimizada, considerando: a ordem

dos clientes em uma rota, as lojas de coleta e os horários ideais de visita aos clientes. Os autores mostraram que o problema do ponto de coleta ótimo, subproblema do SPDPTW, é em geral NP-difícil e propuseram métodos de programação dinâmica para obter limites superior e inferior em tempo linear e solução ótima em tempo pseudo-polinomial.

Santos et al. (2020) apresentaram um modelo de programação linear inteira mista (MILP, do inglês *Mixed Integer Linear Programming*) com um método de solução para um problema de roteamento e transporte marítimo de carga enfrentado por uma empresa química brasileira. Este problema está associado ao planejamento operacional de múltiplas matérias-primas, coletadas em portos europeus e entregues em portos brasileiros para abastecimento de usinas. O problema foi modelado como um problema de coleta e entrega com janelas de tempo, incorporando várias restrições e requisitos operacionais do problema específico. A fim de resolver grandes instâncias do mundo real, um método foi desenvolvido, empregando uma estratégia modificada de *relax-and-fix*, um procedimento de relaxamento e rotinas de reparo e polimento para soluções MILP. O modelo foi avaliado por meio de instâncias reais fornecidas pela empresa, demonstrando a eficiência e eficácia do método de solução desenvolvido.

O rápido crescimento urbano, a crescente importância do comércio eletrônico e as altas expectativas de serviço ao consumidor deram origem a modelos novos e inovadores para entrega de cargas em ambientes urbanos. Soluções *Crowdsourced* - onde os motoristas não são empregados por uma operadora, mas ocasionalmente oferecem seus serviços por meio de plataformas *on-line* e são contratados conforme exigido pelas operadoras - estão recebendo atenção crescente da indústria (SAMPAIO et al., 2020).

Sampaio et al. (2020) analisaram um sistema *Crowdsourced* onde os motoristas expressam sua disponibilidade para realizar tarefas de entrega por um determinado período de tempo e a plataforma comunica um cronograma com as solicitações de atendimento. Eles investigaram os benefícios potenciais da introdução de transferências para apoiar as atividades do motorista. Nos locais de transferência, os motoristas podem entregar pacotes para serem recolhidos por outros motoristas posteriormente. Neste caso, Sampaio et al. (2020) estruturaram o problema como um problema de coleta e entrega de vários pontos com janelas de tempo e transferências e propuseram um grande algoritmo de busca de vizinhança adaptável que identifica efetivamente oportunidades de transferência benéficas e sincroniza as operações. Experimentos computacionais indicaram que a introdução de opções de transferência pode reduzir significativamente a distância de viagem em todo o sistema, bem como o número de motoristas necessários para atender a um determinado conjunto de solicitações, especialmente quando os motoristas têm disponibilidade curta e as solicitações têm requisitos de serviço elevados.

Yamashita et al. (2019) estudaram um problema real de coleta e entrega de uma empresa de produção de petróleo. O problema consistiu em determinar o roteiro e a programação dos navios para a coleta do petróleo bruto extraído das plataformas *offshore* e sua entrega nos portos (terminais). Os autores consideraram algumas restrições raramente encontradas na literatura, tais como: restrições de calado flexível que dependem do porto e da quantidade de produtos carregados no navio, restrições de capacidade para atracação que dependem de uma combinação do tipo de navio e plataforma

e visitas múltiplas a plataformas e terminais durante o horizonte de planejamento. O objetivo do problema de Yamashita et al. (2019) foi minimizar os custos de transporte e reduzir o número de atracações consecutivas nas plataformas e terminais. A fim de resolver instâncias de problemas reais de grandes tamanhos, os autores propuseram uma heurística *multi-start* eficaz baseada em regras de despacho e movimentos de inserção e troca. Experimentos computacionais em problemas com até 83 coletas/entregas e 25 navios mostram que a heurística proposta forneceu boas soluções em tempos de computação relativamente curtos.

Ghilas et al. (2018) apresentaram uma abordagem de solução exata baseada em um algoritmo *branch and price* para o problema de coleta e entrega com janelas de horário e linhas programadas (PDPTW-SL, do inglês *Pickup and Delivery Problem with Time Windows and Scheduled Lines*) que consiste em programar um conjunto de veículos, integrando-os as linhas regulares de transporte para atender a um conjunto de solicitações de frete dentro de suas janelas de tempo. Uma formulação particionada com base em caminhos foi usada como o problema principal e uma variante do problema de caminho mais curto com restrições de recursos foi resolvida como o problema de preços. Além disso, o algoritmo proposto também pôde ser usado para resolver o problema de coleta e entrega com janelas de tempo com transferências como um caso especial. Os resultados de extensos experimentos computacionais confirmaram a eficiência do algoritmo que foi capaz de resolver instâncias de pequeno e médio porte para otimização dentro de um tempo de execução razoável.

Nguyen, Crainic e Toulouse (2017) avaliaram os sistemas logísticos de duas regiões de uma cidade em um problema chamado de Problema de Coleta e Entrega de Várias Viagens com Janelas de Tempo e Sincronização (MT-PDPTWS, do inglês *Multi-trip Pickup and Delivery Problem with Time Windows and Synchronization*) e tem dois conjuntos de decisões interligadas: as decisões de roteamento que determinam a sequência de clientes visitados por cada rota de veículo e as decisões de programação que planejam os movimentos dos veículos entre instalações dentro das restrições de sincronização de tempo. Os autores propuseram um algoritmo de busca tabu integrando um algoritmo de busca de vizinhanças direcionadas e os testes foram conduzidos em instâncias com até 72 instalações e 7.200 demandas de clientes. Como não há resultados anteriores disponíveis na literatura para este problema específico, os autores também avaliaram o desempenho do método por meio de comparações com resultados publicados em dois problemas simplificados: o problema de roteamento de veículos de múltiplas zonas e múltiplas viagens com entrega e coleta separadas e o problema de roteamento de veículos com *backhauls* - quando todas as entregas devem ser concluídas antes que as coletas possam ser efetuadas. O algoritmo proposto demonstrou-se competitivo com os métodos exatos e meta-heurísticos existentes para esses dois problemas.

O problema de roteamento de veículos com coleta e entrega simultâneas e janela de tempo (VRPSPDTW, do inglês *Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup-Delivery and Time Window*) é computacionalmente desafiador, pois generaliza o problema de roteamento de veículos clássico e é NP-difícil. De acordo com o estado da arte, VRPSPDTW geralmente tem dois objetivos de otimização hierárquica: um objetivo principal de minimizar o número de veículos (NV) e um objetivo secundário de reduzir a distância de transporte (TD) (SHI et al., 2020).

Shi et al. (2020) desenvolveram um algoritmo de dois estágios baseado em aprendizagem eficaz

para resolver o VRPSPDTW. No primeiro estágio, uma busca de vizinhança variável com uma função objetivo baseada em aprendizagem é proposta para minimizar o objetivo primário. No segundo estágio, uma pesquisa tabu baseada em bi-estrutura (BSTS) é projetada para otimizar ainda mais os objetivos primários e secundários. Os resultados experimentais em 93 instâncias demonstram que o algoritmo proposto tem um desempenho notavelmente bom tanto em termos de eficiência computacional quanto de qualidade da solução. Em particular, o algoritmo de dois estágios proposto melhora várias soluções mais conhecidas (um melhor NV ou um melhor TD quando os NV são os mesmos).

Os *parcel lockers* fixos funcionam como pontos de coleta e entrega autônomos e podem melhorar a eficiência das entregas. No entanto, devido à localização e combinação fixas, os *parcel lockers* fixos não podem acomodar a mudança de demandas de forma eficaz (WANG; BI; CHEN, 2020).

Wang, Bi e Chen (2020) propuseram uma abordagem para incluir *parcel lockers* móveis para atender às demandas de entrega na última localidade. Com o objetivo de minimizar o custo operacional, os problemas de localização e otimização de rotas dos *parcel lockers* móveis são integrados em um modelo de programação inteiro não linear. Um algoritmo genético incorporado foi desenvolvido para determinar de forma otimizada os locais dos pontos de distribuição, o número de *parcel lockers* móveis necessários para cada ponto de distribuição e seus horários e rotas simultaneamente. Os autores também aplicaram o GA em um exemplo numérico para comparar os resultados de otimização das estruturas com e sem o problema de agregação (fixos x móveis). Os resultados mostram que a estrutura com problema de agregação pode economizar muito o tempo de entrega. No entanto, para a estrutura sem o problema de agregação, as janelas de tempo são mais contínuas, o que economiza o número de veículos.

Li et al. (2019) investigaram um problema de distribuição de produto enfrentado por um varejista em Cingapura que trata-se de uma generalização do problema do caixeiro viajante de coleta e entrega de mercadorias múltiplas. A cada final de semana, o varejista previa a demanda de cada produto para a próxima semana. Para garantir o nível de estoque igual ao previsto, o varejista programava uma frota de veículos para retirar ou entregar produtos de ou para cada loja no início de cada semana com o intuito de enviar produtos de uma loja com excedente para outra loja em falta. Para produtos que não podem ser balanceados entre as lojas, os mesmos eram coletados ou entregues para o depósito, o que incorria em um custo de manuseio para cada unidade. O objetivo do problema investigado pelos autores foi minimizar a distância total de viagem, bem como o custo total de manuseio. Os autores propuseram um algoritmo *branch and price and cut* baseado em um modelo de particionamento de conjuntos. O algoritmo foi testado em um conjunto de instâncias geradas de acordo com um banco de dados do varejista e os resultados computacionais mostram que algoritmo pôde resolver de forma otimizada instâncias com 20 lojas e mais de 100 produtos em uma hora de tempo computacional.

Montané, Ferreira e Galvão (1997) desenvolveram algumas heurísticas para resolução do problema de entrega expressa e executaram testes com 20 cidades comparando-as com resultados exatos e até 100 cidades fazendo comparações entre as heurísticas abordadas. Os resultados foram satisfatórios retornando soluções bem próximas da ótima.

De certa forma, o problema real tratado nessa dissertação pode ser caracterizado como um problema de entrega expressa e também como um problema de coleta e entrega conforme será descrito no

Capítulo 3.

2.3 SCHEDULING

De maneira generalista, pode-se definir problemas de *scheduling* como a necessidade de alocação de recursos e atividades, respeitando determinadas restrições, de maneira ótima ao longo do tempo. Problemas de Programação da Produção ou *Scheduling Problems* representam uma classe de problemas de tomada de decisão muito importante na otimização. Pertencem à esta classe: sequenciamento de tarefas em máquina única, sequenciamento de tarefas em máquinas paralelas (idênticas, uniformes ou não relacionadas), *flow shop* (máquinas em série, com fluxo de tarefas unidirecional), *job shop* (máquinas em série com fluxo de tarefas não unidirecional), entre outros (PINEDO, 2002).

Problemas de *scheduling* também consistem na alocação de recursos para execução de tarefas em determinado intervalo de tempo. Neste sentido, há uma enorme gama de atividades onde tais tipos de problemas estão presentes, dentre as quais, pode-se citar: agendamento de navio em portos, programação da produção em fábricas, programação de etapas de produção na construção civil, agendamento de atendimento de clientes em uma fila, sequenciamento de despacho de produtos em centros de distribuição e agendamento de alocação de aeronaves em portões de embarque (MAIOLO, 2019).

Dentre as possíveis funções objetivo dos problemas de *scheduling*, podemos destacar: a minimização do *makespan*, que consiste em minimizar o maior tempo de término em um conjunto de tarefas; a minimização do tempo de atraso total, que consiste determinar uma sequência, onde a soma de atrasos das tarefas seja mínima; a minimização do tempo de espera, ou seja, o tempo que a tarefa gasta desde que chega na máquina até começar a ser executada; e a minimização do adiantamento de tarefas que determina uma sequência com o menor valor do adiantamento total. Os seguintes parâmetros podem ser considerados no problema: tempo de chegada, prazo de execução, ordem de precedência das tarefas, tempo de processamento, tempo de preparação, etc (LEUNG, 2004).

Fuchigami e Rangel (2018) realizaram um estudo bibliométrico acerca de estudos de casos publicados na literatura na área de sequenciamento da produção e verificaram que existe oportunidade para parcerias entre academia e empresas, pois, segundo os autores, os acadêmicos oferecem soluções de otimização tanto por métodos não exatos quanto através de modelos de programação linear e, por outro lado, as empresas precisam de soluções para os problemas que enfrentam.

De acordo com Silva (2005), o conceito de *textit* aplicado aos processos produtivos também pode ser denominado como "sequenciamento da produção" e é a atividade que determina a sequência em que os produtos serão fabricados no sistema produtivo.

Monks (1987) define sequenciamento como a determinação das máquinas ou centros de trabalho a serem utilizados no processamento de uma determinada tarefa. Técnicas de sequenciamento são bastante difundidas em organizações industriais, sendo aplicadas no apoio aos processos decisórios através da alocação de recursos e também permitem definir uma ordem apropriada para a execução de tarefas de acordo com restrições específicas.

Técnicas de sequenciamento impactam significativamente na produtividade, visto que atuam na minimização de tempo de execução das tarefas, nos custos envolvidos nesse processo e no fornecimento

de informações a cerca dos processos produtivos. De acordo com Pinedo (2002) um problema de sequenciamento pode ser descrito no formato $\alpha | \beta | \gamma$, onde α descreve o ambiente da máquina, β fornece detalhes de características de processamento e γ descreve o objetivo a ser otimizado.

O sequenciamento de produção tem como objetivo programar os recursos a serem utilizados no processo produtivo de forma balanceada, controlando possíveis desperdícios de matéria prima e mão de obra. Com isto, possíveis problemas podem ser previstos e suas soluções antecipadas evitando atrasos e complicações na entrega do produto final ao cliente. Saber a capacidade de produção consiste em determinar o *lead-time* de forma correta, sem sub ou superestimação do mesmo, onde possa ser percebido o real tempo de produção (FONSECA et al., 2016).

Os próximos parágrafos apresentam problemas de scheduling aplicados em processos produtivos, ou seja, que tratam sobre sequenciamento da produção.

Com aplicação em casos reais na indústria automotiva da Alemanha, Dormer, Gunther e Gujjula (2013), propuseram uma formulação de modelo matemático para o sequenciamento da produção e também desenvolveram procedimentos de solução heurística para minimizar a variabilidade da carga de trabalho, permitindo uma alocação mais eficiente do pessoal.

Chen et al. (2015), realizaram um trabalho de simulação cujo objetivo era maximizar o lucro de um fabricante de tijolos e argamassa. Neste trabalho, foi caracterizado a política ótima de sequenciamento da produção usando uma curva de limite monótono e também a política ótima de preços usando curvas de comutação monótonas. Por fim, investigaram como a rentabilidade do fabricante e suas políticas ótimas de sequenciamento de produção e preços são afetadas por vários parâmetros.

Em uma situação em que um empresa de manufatura opera em um ambiente *make-to-order* e que é necessário cumprir determinada data de vencimento dos pedidos, Yue e Wan (2017) propuseram um algoritmo *branch and bound* e também três algoritmos de busca Tabu com o objetivo de minimizar os custos totais de antecipação, atraso, atribuição de datas de vencimento e com consumo extra de recursos para cumprimento das datas acordadas. Os resultados dos experimentos comprovaram que os algoritmos de busca Tabu são eficazes e apresentam qualidade nas soluções.

Du, Kong e Hu (2019) estenderam o problema de roteamento de produção ao problema *make-pack-route* (MPRP) para planejar cronogramas de produção e roteamento que permitam uma composição flexível de pedidos e garantam a entrega dentro do prazo. Para resolver o MPRP, propuseram uma heurística de agendamento sequencial iterativa incorporada à pesquisa local, que resolveu sequencialmente os problemas de agendamento correspondentes e melhoraram o agendamento geral de maneira iterativa. Com os estudos numéricos, os autores verificam que o método pôde resolver instâncias praticamente significativas (por exemplo, até 200 pedidos e 30 itens) em um período de tempo aceitável. Os resultados também mostram uma redução média de 11,6% no custo total de processamento em comparação com um método de programação *ad hoc* comumente usado na prática. Os resultados também sugerem que o método de solução economiza mais custos com mais pedidos, maior variedade de pedidos e maior quantidade média de mercadorias e variedade em cada pedido.

Com aplicação real em uma empresa de fabricação de peças para navios, He, Dong e Zhao (2020) estudaram um problema de reprogramação da produção para inserção de pedidos urgentes. Os autores, desenvolveram um modelo matemático que considerou simultaneamente restrições como lotes, tempos

de configuração dependentes da sequência e tempos de transporte com objetivos para minimizar a produção, o tempo total de transporte e o desvio total da máquina entre o plano de programação inicial e o plano de reagendamento. O método NSGA- III foi proposto e aplicado para resolver o problema. Foram realizados três experimentos e foi comprovado a adequação e efetividade do NSGA-III ao problema de reagendamento com objetivos múltiplos.

Os problemas de *scheduling* também podem ser aplicados em problemas integrados de produção e entrega de produtos. Nos próximos parágrafos são apresentados exemplos encontrados na literatura quanto essas aplicações.

Por meio de modelos de programação inteira mista para sequenciamento da produção, planejamento logístico e esquema integrado, Jin, Luo e D.Eksioglu (2008) estudaram o impacto da integração do sequenciamento da produção e do planejamento logístico no nível operacional e demonstram economias de custo significativas, integrando decisões de produção e distribuição se comparado com tomadas de decisão apartadas (decisões de produção e decisões de distribuição).

Com o intuito de coordenar de maneira otimizada as decisões inter-relacionadas da sequência de produção e rotas de veículos para entrega, minimizando a custo total de produção e distribuição, Park e Hong (2009) criaram um modelo de programação linear inteira mista e também propuseram um algoritmo genético híbrido cujo resultado evidenciou que o planejamento integrado é mais eficaz nos problemas que envolvem clientes com demanda de itens múltiplos dispersos por toda a região do que naqueles que envolvem clientes divididos em várias zonas com a mesma demanda de item único. Os autores também confirmam a eficácia da abordagem de planejamento integrado sobre o método de planejamento dissociado no qual o roteamento de veículos é primeiro desenvolvido e uma sequência de produção é subsequentemente derivada.

Em uma empresa de fabricação de móveis que também opera em um ambiente *make-to-order* Mohammadi, Hashem e Rekik (2020) abordaram um problema integrado de agendamento de produção e roteamento de veículo em determinada janela de tempo. O problema foi modelado como um problema multi-objetivo inteiro misto, no qual a primeira função objetivo visa minimizar uma soma dos custos de programação de produção e distribuição, e a segunda função objetivo tenta minimizar uma soma ponderada da antecipação e atraso da entrega. O problema foi resolvido por um algoritmo HPSO (*Hybrid Particle Swarm Optimization*) e os resultados mostram que a empresa pode estabelecer um equilíbrio adequado entre as preocupações de custo e cliente e pode usar a política de integração como uma alavanca para melhorar a satisfação do cliente sem que o sistema sofra um aumento significativo no custo operacional total.

Em um problema integrado de programação da produção e distribuição de um produto com curta vida útil (“perceível”) cujos pedidos são recebidos de um conjunto de clientes geograficamente dispersos, com uma taxa de produção limitada e com uma janela determinada pelo cliente para recebimento do produto, Viergutz e Knust (2014) desenvolveram um algoritmo *branch end baund* para selecionar os clientes a serem atendidos, de modo a maximizar a satisfação total da demanda. Como resultado, foi possível permitir sequencias variáveis de produção e distribuição, lidar com atrasos planejados no início da produção e encontrar soluções viáveis para o problema prático.

Yin et al. (2016) analisaram um problema integrado de programação da produção e distribuição de

um sistema de produção sob encomenda envolvendo duas atividades (A e B) que são processadas em uma única máquina compartilhada. O objetivo foi determinar um cronograma de trabalho das atividades que minimizasse o tempo de conclusão. Os autores apresentaram um algoritmo programação dinâmica pseudo-polinomial e também uma formulação de programação linear inteira mista e concluíram que os algoritmos de programação dinâmica devem ser preferidos às formulações de programação linear inteira mista quando a função objetivo inclui o tempo total de conclusão das tarefas, enquanto as formulações de programação linear inteira mista devem ser preferidas aos algoritmos de programação dinâmica quando a função objetivo inclui minimizar os trabalhos atrasados.

Lee e Fu (2017) também trataram o problema integrado de programação de produção e distribuição de um sistema de produção sob encomenda com o objetivo de minimizar o custo de produção-estoque para atender a demanda. Os autores desenvolveram um modelo conjunto de quantidade de produção e entrega em que o custo de transporte é explicitamente considerado. Os resultados demonstraram que a economia no custo operacional total é significativa quando a política sincronizada é implementada no processo de otimização da rede com um todo.

Ainda sobre problema integrado de programação de produção e distribuição, Chang, Li e Chiang (2013) estudaram uma situação na qual os trabalhos são processados por máquinas paralelas não relacionadas e depois distribuídos aos clientes. O objetivo foi encontrar um cronograma conjunto de produção e distribuição para que o tempo total de entrega do trabalho e o custo total da distribuição sejam minimizados. Para isso, apresentaram um modelo matemático que descrevesse o problema e criaram um algoritmo usando a otimização da colônia de formigas (*ant colony optimization – ACO*) que resultou em soluções quase ótimas para o problema, além de demonstrar a importância de integrar produção e distribuição ao comparar a solução do problema de programação de produção e distribuição sequencialmente com a solução do problema usando uma abordagem integrada. Os autores ainda colocam como um direcionamento para trabalhos futuros discutir o problema integrado de programação de produção e distribuição sob diferentes estruturas de custo, como a inclusão de medidas de desempenho relacionadas à data de vencimento acordado com o cliente.

Guo et al. (2016) avaliaram um problema integrado de programação de produção e distribuição com ambiente de produção de máquinas paralelas não relacionadas e entrega baseada em lote de produtos. Esta situação foi caracterizada pelos autores como um problema de otimização em dois níveis, envolvendo um subproblema de atribuição de pedidos e um subproblema de transporte. O objetivo foi propor uma abordagem de otimização evolutiva em dois níveis e com soluções efetivas e foi apresentado um modelo de programação não linear inteiro misto. Os resultados incluíram reduzir o número de trabalhos atrasados e o custo total da cadeia de suprimentos, que foram úteis para cumprir bem as datas de vencimento dos clientes, melhorar o nível de satisfação do cliente e o desempenho geral da cadeia de suprimentos.

Azadian, Murat e Chinnam (2015) também estudaram um problema integrado de programação de produção e planejamento da distribuição com produção em máquinas paralelas não relacionadas e com diferentes custos e tempos de transportes terceirizados disponíveis para entrega dos pedidos. O objetivo foi minimizar o custo total do atendimento de pedidos, incluindo multas por atraso da fabricação e entrega de vários pedidos de clientes, selecionando entre as opções de remessa disponíveis, antes das

datas de vencimento pré-definidas. O problema foi modelado como programação linear inteiro misto NP-difícil e os autores propuseram um esquema de decomposição para tratar o problema, além de apresentarem um modelo de programação dinâmica exata (CPLEX) e uma abordagem heurística para resolver os subproblemas. Como resultado, foi identificado que a heurística de relaxamento é capaz de resolver problemas maiores com eficiência e fornecer soluções de alta qualidade.

De maneira muito semelhante, Wang e Lei (2015) também compararam a otimização exata pelo *software* CPLEX à uma heurística de relaxamento parcial em um problema NP-difícil de programação integrado das operações de fornecimento e distribuição em uma cadeia de suprimentos sob encomenda cujo objetivo tratava-se de encontrar a atribuição de fornecedores e os cronogramas das operações de fornecimento e distribuição, de modo a minimizar os custos totais de remessa e penalidades incorridos pelos pedidos de clientes não atendidos. Neste caso, os autores também comprovaram por meio de testes de desempenho que o algoritmo proposto foi capaz de encontrar uma boa solução com tempo computacional notavelmente menor.

Em um problema de agendamento integrado das operações de produção e distribuição considerando vários recursos reais importantes, como, por exemplo, várias plantas, vários tamanhos de pedidos e vários modos de transporte, He, Guo e Wang (2019) propuseram uma abordagem de otimização baseada em algoritmo memético, integrando um processo de otimização memético e alguns procedimentos heurísticos com o objetivo de minimizar o custo total de produção e distribuição, determinando como atribuir um grande número de pedidos de clientes a várias plantas de produção e como transportar os produtos acabados para destinos globais especificados pelos clientes. A eficácia da abordagem proposta foi demonstrada por extensas experiências numéricas e os resultados experimentais demonstram que a abordagem proposta pôde efetivamente resolver o problema investigado, gerando boas soluções para instâncias de tamanho industrial, que o planejamento integrado gera melhores soluções de planejamento que o planejamento sequencial e que o processo de otimização memética exibiu melhor desempenho de busca ótima do que um processo de otimização baseado em algoritmo genético padrão.

Li e Li (2014) estudaram outro problema integrado de programação de produção e distribuição enfrentado por um fabricante de produção sob encomenda que depende de um fornecedor de logística para a entrega do produto acabado aos clientes. Neste caso, o fabricante recebe um conjunto de pedidos para serem processados em uma única linha de produção. Os pedidos concluídos são entregues aos clientes por um número finito de veículos de um fornecedor de entrega, que segue um cronograma fixo de remessas diárias ou semanais, de modo que os veículos tenham datas de partida fixas que não fazem parte das decisões. O problema é encontrar um cronograma viável que minimize o total de pedidos atrasados e o número de veículos usados. Os autores mostraram que o problema pode ser solucionado por um algoritmo em tempo polinomial.

Wang et al. (2019) estudaram um problema integrado de agendamento de fluxo de fabricação híbrido de três estágios com distribuição para minimizar o tempo máximo de conclusão da entrega. Tal situação pôde ser modelada como o Problema do Caixeiro Viajante e um modelo de programação linear com número inteiro misto foi formulado para resolvê-lo. No entanto, resolver o modelo de maneira exata não levaria um tempo adequado e, sendo assim, os autores propuseram três métodos heurísticos: método variável de busca de vizinhança, um método construtivo em quatro camadas e

um método híbrido combinando os dois métodos anteriores. Experimentos computacionais mostram a eficácia e eficiência dos métodos propostos sendo que o método construtivo em quatro camadas apresentou mais equilíbrio para instâncias de problemas com diferentes escalas enquanto o método híbrido apresentou melhor desempenho apenas para instâncias de pequena escala.

Prasetyaningsih et al. (2017) trataram de um problema integrado de programação de lotes de produção e entrega para um ambiente de produção sob encomenda cuja entrega também é realizada em lotes e utilizando um veículo. O objetivo foi encontrar um cronograma integrado de lotes de produção e entrega, a fim de atender a data de vencimento com o custo total mínimo. O modelo foi formulado como um modelo de programação não linear inteiro e a solução ótima global pode ser obtida usando um software de otimização. Um algoritmo heurístico também foi proposto para lidar com o problema do tempo computacional. As experiências numéricas mostram que o algoritmo proposto produz soluções ótimas próximas ao global.

Marandi e Ghomi (2019) apresentaram um problema de *scheduling* de de uma rede de configuração de fábricas com o problema de entrega em lote em que um conjunto de determinados trabalhos são transportados entre as fábricas por meio de um número de lotes com capacidade limitada. Nesta situação, alguns trabalhos em processo puderam ter as mesmas rotas de processamento e serem entregues juntos no mesmo lote para reduzir os custos de transporte. Por outro lado, a decisão de entrega do lote pode causar um aumento nos custos de atraso e retenção. Portanto o objetivo foi encontrar as soluções ideais de programação de produção e entrega em lote para minimizar os custos totais de transporte, atraso e retenção.

Marandi e Ghomi (2019) formularam o problema como um modelo de programação inteira mista e por se tratar de um problema NP-difícil, além do *simulated annealing* padrão que e do *simulated annealing* em nuvem, os autores desenvolveram um *simulated annealing* orientado ao aprendizado baseado no algoritmo Q-learning para lidar com problemas de grande porte. Além disso, os autores também propuseram um novo *simulated annealing* orientada para a aprendizagem baseada na teoria da nuvem híbrida (HCLSA). Os algoritmos foram examinados lidando com várias instâncias de teste geradas aleatoriamente versus algoritmo genético. De acordo com a análise estatística, foi mostrado que o HCLSA proposto é superior aos outros algoritmos examinados em termos de qualidade da solução e tempo de execução.

Zhang, Wang e Wang (2018) consideraram o problema de programação da cadeia de suprimentos de *e-commerce business-to-customer (B2C) on-line*, em que os clientes geram pedidos que devem ser retirados das prateleiras de um depósito e entregues aos clientes em lugares diferentes. O problema é identificado como um problema específico de produção e entrega integrada, denominado problema de separação e entrega de pedidos *on-line* com vários locais de entrega e capacidade limitada de veículos. Os pedidos são agrupados em lotes e entregues em suas localidades pelos veículos. O objetivo foi minimizar o custo total, que é a soma do *makespan* e do custo de entrega. Os autores apresentaram um algoritmo *on-line 4-competitive* integrando os métodos existentes para o problema de produção-entrega integrada *on-line* e o problema do lote de pedidos *on-line*. Os extensos experimentos numéricos mostram que o algoritmo proposto foi robusto e eficiente. Além disso, através da comparação com a literatura, foi demonstrado que o modelo proposto pode levar a uma redução substancial tanto do custo

total quanto do custo de entrega.

Fu, Aloulou e Artigues (2018) estudaram, um modelo integrado de programação de produção e distribuição com um fabricante e um cliente. O fabricante processa um conjunto de trabalhos em uma única máquina e entrega em lotes ao cliente. Cada trabalho tem uma data de lançamento e um prazo de entrega. O objetivo do problema foi emitir um cronograma de distribuição e produção integrado viável, minimizando o custo de transporte sujeito às datas de liberação da produção e restrições de prazo de entrega. Os autores consideraram o problema citado de três formas diferentes: problema de produção e entrega não divisível (NSP-NSD), problema de produção divisível e entrega não divisível e problema de produção e entrega divisível. Os autores forneceram algoritmos de tempo polinomial que resolvem casos especiais do problema. Um desses algoritmos permitiu calcular um limite inferior para o problema NP-difícil NSP – NSD que foi utilizado em um algoritmo *branch-and-bound* (BB) para resolver o problema NSP – NSD. Os resultados computacionais mostram que o algoritmo BB supera uma formulação de programação linear inteira mista.

Além da aplicação em processos produtivos, os problemas de *scheduling* também são encontrados no setor de serviços, conforme apresentado nos próximos três parágrafos.

Taghizadehalvandi e Ozturk (2019) aplicaram um modelo multi-objetivo em um problema de agendamento de turno de funcionários de uma loja de tecnologia. Os objetivos consistiam em equilibrar as cargas de trabalho entre os funcionários, além de atender as demandas de folgas o máximo possível. O resultado foi aumento de eficiência e qualidade da empresa uma vez que os funcionários estavam mais satisfeitos em relação à carga horária.

Agrali, Taskin e Ünal (2017) investigaram um problema de agendamento de funcionários em uma organização especial de assistência médica, como centros de atendimento a crianças com deficiência e casas de repouso para idosos. Para resolver esse problema, propuseram um modelo de programação linear inteiro misto. Tal modelo foi aplicado e testado em conjuntos de dados de tamanho real fornecidos por uma grande organização de assistência médica na Bélgica. Os objetivos do problema foram minimizar os serviços não satisfatórios, maximizar a utilização das horas contratadas, maximizar a satisfação dos funcionários e maximizar o equilíbrio entre os funcionários quanto aos dias trabalhados em feriados.

Maiolo (2019) desenvolveu um algoritmo genético baseado em aspectos do NSGA-II e aplicou em um problema de agendamento de aeronaves em portões de embarque com três objetivos conflitantes e com exigência de soluções com número inteiros. Tal modelo se mostrou abrangente e facilmente adaptável, além dos resultados terem sido satisfatórios tanto em qualidade quanto em tempo de execução.

Essa dissertação aspirou apoiar na evolução de uma das atividades relevantes do setor bancário desenvolvendo e aplicando um modelo de priorização de forma a impactar a experiência do cliente.

Para tanto, a produção científica dos últimos anos descrita até o momento e que muito se aplica no setor industrial será utilizada como um guia para os próximos passos dado que o problema real foi programar a entrega dos produtos. Em contrapartida, a contribuição científica deste trabalho será a aplicação em um setor que até o momento não foi tratado na literatura.

3 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Este capítulo tem por objetivo apresentar a situação atual do problema real e também caracterizar os fornecedores e atributos do problema.

3.1 SITUAÇÃO ATUAL

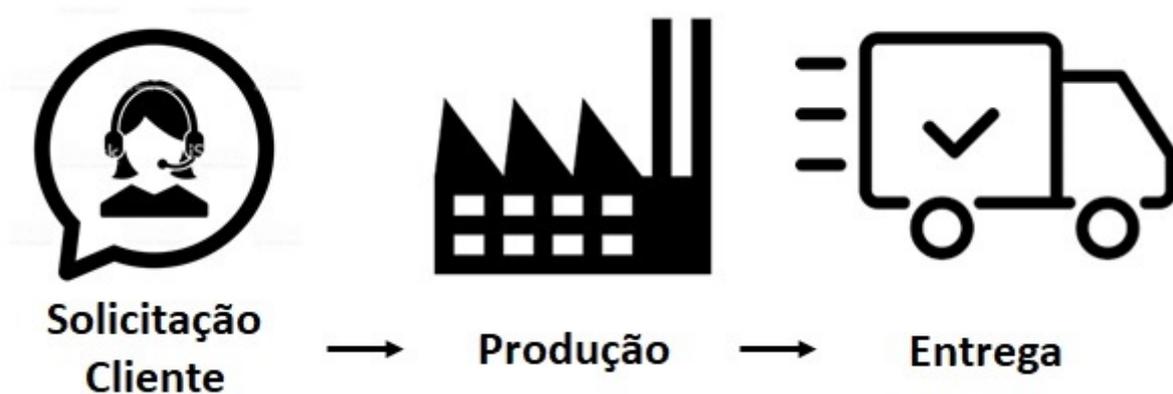
O cartão financeiro é um meio de pagamento eletrônico que permite ao portador a aquisição de bens e serviços à vista ou a prazo, e liquidação de dívidas em estabelecimentos comerciais credenciados, sendo os dois tipos principais os cartões de crédito e débito. O cartão de crédito permite ao portador a aquisição de um bem ou serviço para pagamento à prazo. Já o cartão de débito permite o pagamento da aquisição à vista, com desconto direto em conta corrente.

Além destes, existem os cartões múltiplos, que disponibilizam as duas funções (débito e crédito) no mesmo plástico, fazendo com que o consumidor tenha acesso tanto aos serviços disponibilizados pelos bancos, quanto aos serviços oferecidos pelos estabelecimentos credenciados. Esse tipo de cartão proporciona uma redução de custos de emissão dos cartões de crédito e de cartões de movimentação bancária, por reunir em um único cartão, as características dos dois cartões, conforme descrito acima.

O cartão pré-pago é também uma modalidade que tem se intensificado no Brasil. Esse tipo de cartão é utilizado para aquisição de bens ou serviços específicos, em que o usuário faz uma recarga antecipada, ou seja, define o valor que irá disponibilizar para usufruir desse serviço.

A instituição bancária objeto desse estudo emite mensalmente cerca de 3 milhões de cartões. A Figura 4 sintetiza o fluxo de emissão de cartões dos de crédito, débito, múltiplo e pré-pago.

Figura 4 – Fluxo Logística Cartões.

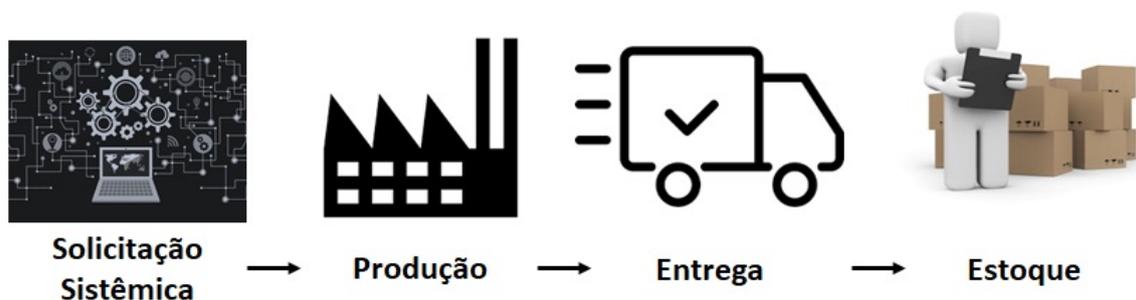


Fonte: Produzido pelo autor

A instituição bancária objeto desse estudo também é responsável pela produção de outros tipos de cartões que podem ser denominados como "cartões para estoque", ou seja, não são fabricados para um cliente específico e sim destinados às agências ou lojas parceiras de forma que permaneçam em

estoque até a entrega para um novo cliente que compareça de forma presente nesses locais físicos citados. Esses cartões para estoque podem ser representados pela Figura 5.

Figura 5 – Fluxo Cartões Produzidos para Estoque.



Fonte: Produzido pelo autor

Quanto ao volume de produção, aproximadamente 1,1 milhões de cartões são para estoque e os 1,9 milhões restantes são destinados a clientes específicos. Com a finalidade de diferenciar o grupos, estes 1,9 milhões de cartões que não são produzidos para estoque serão denominados no decorrer deste trabalho como "cartões personalizados".

Além do tipo do cartão (personalizado ou para estoque), os mesmos também são divididos por parceria que combinados com os diferentes tipos de bandeira (Visa ou MasterCard) e variantes (Nacional, Internacional, Gold, Platinum e Black) totalizam aproximadamente 500 tipos de produtos diferentes.

Um cartão pode ser emitido por três diferentes motivos. São eles:

- Conta nova: solicitação feita por clientes que não possuem um cartão daquele produto;
- Segunda via: solicitação feita por clientes que já possuem um cartão daquele produto (acontece, por exemplo, quando o cliente perde o plástico e solicita um novo);

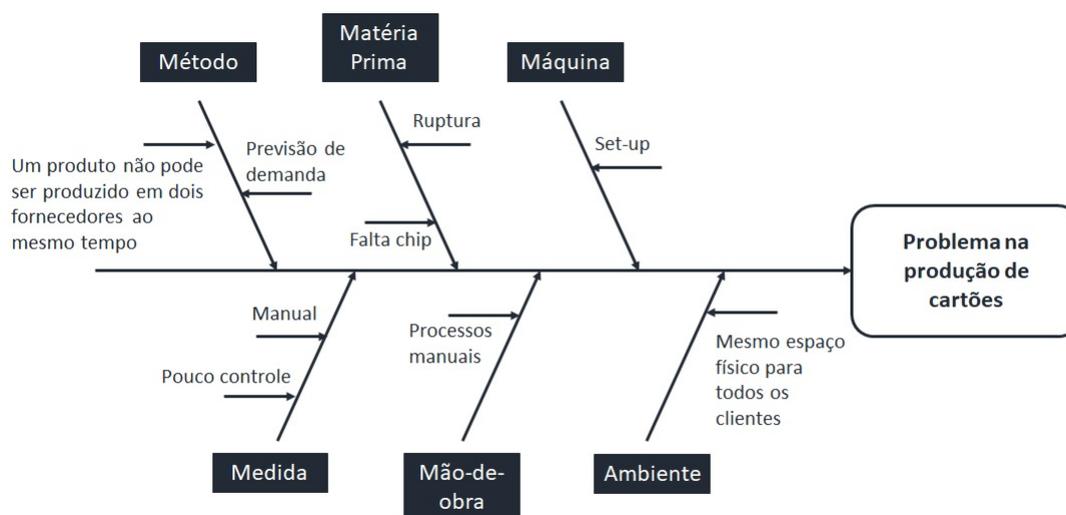
Atualmente a instituição estudada possui 4 fornecedores de produção localizadas no estado de São Paulo que produzem os cartões e que não são exclusivos, ou seja, estes fornecedores também atendem outros bancos.

Os cartões solicitados em determinado dia, não importa o horário, são “acumulados” em uma única base e transmitidos para os fornecedores na madrugada seguinte. Além dos cartões solicitados pelos clientes (conta nova e segunda via), todo dia dois de cada mês também é enviada aos fornecedores a base dos cartões renovados. Cada fornecedor é responsável por manter um estoque interno de plásticos virgens de cada produto. Essa informação de quantidade do estoque é calculada pela Logística de Cartões (Planejamento) e apresentado para cada fornecedor. Esse estoque é calculado com base na previsão de cartões que serão solicitados por produto, ou seja, não é feita uma previsão por localidade (cidade, estado, região...)

Como os fornecedores mantêm o estoque interno citado anteriormente, quando as solicitações são enviadas, é necessário apenas realizar o *embossing* do plástico, ou seja, gravar no plástico as informações de número e validade do cartão, nome do cliente e código do cvv, além de envelopar o produto da maneira que o cliente final deve receber. Sendo assim, o processo de produção dos cartões pode variar de zero a dois dias e nesta etapa não existem muitas oportunidades de melhoria pois a mesma já se encontra otimizada.

A Figura 6 representa o diagrama de Ishikawa (ISHIKAWA, 1985) que permitiu identificar as causas reais de problemas na etapa de produção de cartões.

Figura 6 – Diagrama de Ishikawa do problema na produção de cartões.



Fonte: Produzido pelo autor

Após a produção, o fornecedor disponibiliza o produto para que o entregador realize a coleta e dê início ao processo de entrega. Atualmente, a instituição trabalha com três fornecedores que realizam a entrega dos cartões e que, assim como as fábricas, também não são exclusivos pois tratam-se de empresas especializadas em entregas de encomendas e correspondência.

Entre as etapas de produção e entrega não há estoque, ou seja, por contrato, os fornecedores de entrega devem coletar os cartões produzidos no mesmo dia em que os fornecedores de produção finalizam a expedição da carga. A definição do entregador é feita de forma sistêmica, isto é, o sistema da instituição bancária define previamente qual será o fornecedor responsável por aquela entrega de acordo com alguns parâmetros que serão descritos posteriormente na subseção 3.2.2. Além disso, todos os entregadores coletam cartões em todas as fábricas e pode acontecer da fábrica expedir mais de uma carga em um mesmo dia para determinado entregador.

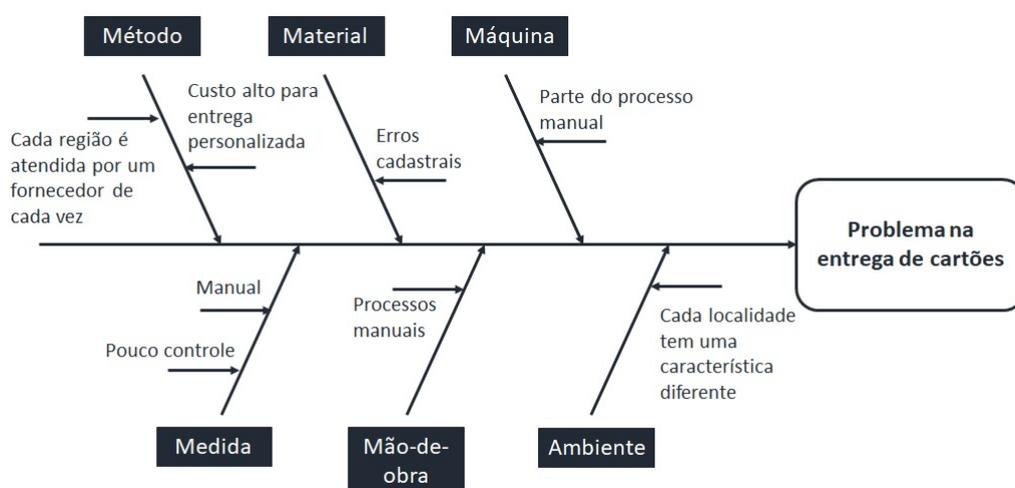
Ainda em relação a entrega, o prazo pode variar de acordo com o Código de Endereçamento Postal (CEP) onde está localizado o cliente. Além disso, existem três modalidades de entrega diferentes que de certa forma auxiliam os entregadores a identificar os cartões mais críticos do processo. As modalidades de entrega são:

- VIP: produtos para clientes alto padrão e com prazo de entrega mais curto;
- Retenção: modalidade solicitada quando um cliente deseja receber o cartão em um endereço diferente do seu endereço de cadastro;
- Varejo: restante dos cartões enviados.

Apesar da divisão entre as três modalidades, a maioria dos cartões é enviada na modalidade Varejo.

A Figura 7 representa o diagrama de Ishikawa (ISHIKAWA, 1985) que permitiu identificar as causas reais de problemas na etapa de entrega de cartões.

Figura 7 – Diagrama de Ishikawa do problema na entrega de cartões.



Fonte: Produzido pelo autor

Quanto as classificações da literatura descritas na seção 2.2, verificou-se que a fase de entrega se encaixa no problema de entrega expressa pois primeiramente ocorre a etapa de coleta e, em seguida, os cartões são encaminhados para os *hubs* dos fornecedores de forma a serem agrupados de acordo com as regiões de entrega. Por fim, ocorre o despacho da carga para a região determinada e a entrega para o cliente final.

Entretanto, a classificação também pode ser considerada como um problema de coleta e entrega pois, dado que o produto chegou no seu destino final (*hub* final do entregador), na última etapa existe um funcionário (*motoboy*, por exemplo) que faz a coleta de vários cartões e segue para a entrega para vários clientes, um seguido do outro. E é nessa etapa em que este trabalho se propôs a atuar de modo que ocorresse uma priorização ou programação dos cartões a serem entregues primeiro.

3.2 CARACTERÍSTICAS DOS FORNECEDORES

Nesta seção serão apresentadas características tais como volume mensal, capacidade, custos e desempenho tanto dos fornecedores que produzem quanto dos fornecedores que entregam os cartões.

3.2.1 Fornecedores de produção de cartão

Conforme citado anteriormente, a empresa objeto desse estudo possui 4 fornecedores que produzem aproximadamente 3 milhões de cartões por mês. A seguir, tem-se as especificações de cada fornecedor:

- F1: Este fornecedor é responsável pela produção de aproximadamente 600 mil cartões de crédito, débito ou múltiplo por mês. O custo unitário médio da produção é de R\$1,05 e seu desempenho é de 98% cartões produzidos dentro do prazo acordado em contrato.
- F2: Este fornecedor produz cerca de 1,2 milhões de cartões por mês, sendo que 750 mil são cartões para estoque em agências, ou seja, são entregues nas agências da empresa objeto desse estudo e não possuem nome de *embossing* e os demais são cartões personalizados cujo plástico é destinado à um portador pré determinado. O custo unitário desta fábrica é, em média, R\$1,10 e seu desempenho é de 98,5% de cartões produzidos dentro do prazo para cartões personalizados e 99,7% para cartões para estoque.
- F3: Este fornecedor produz cerca de 700 mil cartões e tem como limitação principal o fato de produzir apenas cartões de crédito. Seu custo unitário é, em média, R\$1,00 e seu desempenho é de 98,5% cartões produzidos dentro do prazo acordado em contrato. Além disso, este fornecedor também atua na produção de outros 350 mil cartões para estoque em lojas parceiras, isto é, plásticos sem personalização que não serão entregues a um cliente específico. O custo para produção desse tipo de produto é de R\$0,95 por unidade e o desempenho é de 99,8%.
- F4: Este fornecedor tem o menor volume, quando comparado aos demais, apenas 300 mil cartões por mês. Também produz cartões de crédito, débito e múltiplo e seu custo unitário é de R\$1,15 e seu desempenho é de 98,5% cartões produzidos dentro do prazo acordado em contrato.

3.2.2 Fornecedores de entrega de cartão

A empresa possui três fornecedores que realizam a entrega dos cartões, conforme descrição a seguir:

- E1: Este fornecedor é responsável por aproximadamente 10% da entrega dos cartões e desempenho de aproximadamente 92%
- E2: Este fornecedor entrega, em média, 60% dos cartões produzidos e tem um desempenho de 97%.
- E3: Este fornecedor entrega apenas cartões destinado para estoque nas agências. Dessa forma, cerca de 30% dos cartões são entregues por este entregador e não se tem informações sobre seu desempenho.

Um resumo dos entregadores pode ser visualizado na Tabela 1.

Quanto a escolha sobre qual fornecedor será responsável pela entrega de determinado cartão, existem alguns parâmetros sistêmicos relacionados a abrangência que cada fornecedor oferece seus

Tabela 1 – Resumo por fornecedor de entrega

Entregador	Share	Desempenho	Rastreabilidade?	Estoque?
E1	20%	92%	Sim	Não
E2	50%	97%	Sim	Não
E3	30%	-	Não	Sim

Fonte – Produzido pelo autor

serviços também estudos que a própria Logística de Cartões conduz com o intuito de identificar qual fornecedor possui o melhor desempenho em cada região e esses resultados possibilitam parametrizar o sistema para que, no momento da geração do cartão, o entregador seja definido previamente e o fornecedor de produção seja capaz de apartar em lotes específicos para cada entregador.

3.3 DEMAIS ATRIBUTOS DO PROBLEMA

Esta seção irá discorrer sobre outros fatores importantes que podem influenciar no sucesso do processo de produção e entrega de cartão.

3.3.1 Desbloqueio

Um atributo muito importante quanto a efetividade do processo de produção e entrega de cartões é o desbloqueio. Por medida de segurança, os cartões são enviados bloqueados e desbloquear o cartão após o recebimento é o que permite o cliente utilizá-lo para realização de pagamentos.

O desbloqueio pode ser realizado via aplicativo, SMS, Central de Atendimento e também nos caixas eletrônicos e por qualquer um desses canais existe uma validação de segurança para garantir que quem está realizando o desbloqueio realmente é o cliente dono daquele plástico.

Apesar da alta expectativa que se tem sobre o cliente realizar o desbloqueio logo após a entrega do cartão, nem sempre isso acontece. Atualmente a taxa de desbloqueio dos cartões é de aproximadamente 60%, ou seja, grande parte dos clientes que solicitam o cartão acabam não utilizando, uma vez que não realizam o desbloqueio do mesmo.

Os motivos para não desbloqueio do cartão são diversos, mas estudos recentes realizados pela área de Logística de Cartões concluíram que o não atendimento da expectativa do cliente quanto ao recebimento do cartão influencia na decisão de utilizar ou não o cartão da empresa objeto desse estudo. Em resumo, se o cliente espera receber o cartão em três dias mas recebe em cinco, ele pode optar por um cartão de uma empresa concorrente, mesmo que o prazo de entrega que foi acordado no momento da solicitação tenha sido de cinco dias e que a empresa objeto desse estudo tenha cumprido com o prazo prometido.

Outros fatores que podem influenciar no desbloqueio são: produto, região de entrega e motivo de emissão do cartão. Outros estudos realizados pela Logística de Cartões também permitem concluir que determinados produtos com motivos de emissão específicos e entregues em determinadas regiões podem ter taxas de desbloqueio maiores ou menores.

Isto posto, o desbloqueio é um fator que deve ser considerado no momento de priorizar as entregas dos cartões e o modelo que será proposto deve ponderar este fator.

3.3.2 Reclamação

Uma medida importante do sucesso do processo de produção e entrega de cartões é quantidade de reclamações. Os clientes possuem diversos meios para expressarem sua insatisfação quanto ao recebimento de cartões. Os principais estão listados abaixo em ordem crescente de criticidade.

- SAC: reclamação realizada em canal de atendimento da empresa
- Ouvidoria: reclamação realizada em área específica da empresa considerada a última instância de atendimento para solucionar conflitos
- PROCON (Programa de Proteção e Defesa do Consumidor): reclamação realizada no órgão de defesa do consumidor
- BACEN (Banco Central): reclamação realizada em órgão regulador das instituições financeiras
- Demais canais: existem ainda outras maneiras do cliente registrar formalmente um reclamação formal contra a instituição. Porém o volume dessas reclamações não causam tanto impacto quanto os canais descritos anteriormente

Em um primeiro momento, as reclamações permitirão tirar conclusões quanto ao passado, ou seja, se um cliente reclamou em qualquer um desses canais é porque houve um problema quanto a entrega de cartão que já foi emitido há um tempo. Porém, a reclamação diz muito sobre o perfil do cliente. Um cliente mais ansioso pode reclamar antes mesmo do vencimento do prazo de entrega do cartão.

Além disso, pode-se fazer uso da base de reclamações de outros produtos da empresa pois, se um cliente reclamou anteriormente sobre outro produto, o mesmo tem alto potencial para reclamar sobre a entrega de um cartão dado seu perfil. Sendo assim, a reclamação passada de um cliente pode ser utilizada para orientar os processos nos quais o cliente está inserido no momento atual seja qual for a natureza dessa reclamação passada.

Além de dizer muito sobre o perfil do cliente, as reclamações também podem ser agregadas por produto e região. Determinados produtos e regiões tendem a ter uma quantidade maior de reclamações, segundo estudos realizados pela Logística de Cartões.

Assim sendo, a reclamação também se torna um fator importante para considerar no modelo de priorização de entrega de cartão que será proposto neste trabalho.

3.3.3 Emissão Sucessiva

Um termo comum no cotidiano da Logística de Cartões é "Emissão Sucessiva". Essa situação acontece quando um cliente solicita mais de um cartão do mesmo produto em um curto intervalo de tempo: 90 dias.

Essa situação é preocupante pois significa que muito provavelmente o cliente teve algum problema com a primeira via e, por isso, acaba solicitando um nova via.

Pensando na experiência do cliente, se torna importante garantir que esta nova via seja entregue com sucesso de modo a evitar possíveis reclamações.

Atualmente é feita apenas o acompanhamento do indicador de Emissão Sucessiva, porém nenhuma ação específica é realizada como, por exemplo, a priorização dessa entrega junto ao fornecedor. Sendo assim, o modelo proposto também deverá considerar essa situação.

3.3.4 Clientes críticos

Conforme citado ao final da seção 3.1, existem três modalidades de entrega. A modalidade VIP compreende os produtos alta renda e possuem um prazo de entrega mais apertada em relação a modalidade Varejo.

Porém existem clientes que não necessariamente possuem um produto considerado VIP, mas que deveriam ser tratados de forma diferente. São eles:

- Cliente que possuem um produto VIP, mas também possuem um produto Varejo. Ou seja, a entrega do produto Varejo possui um prazo de entrega maior do que este cliente está acostumado o que pode gerar uma má experiência.
- Clientes considerados vulneráveis
- Clientes *Digital Influencers*

Tanto os clientes vulneráveis quanto os *Digital Influencers* pertencem a um público que quando insatisfeitos com algum produto ou serviço podem expor a situação de maneira a influenciar outras pessoas o que pode manchar a imagem da empresa objeto desse estudo.

Em resumo, a entrega dos cartões não leva em conta esses tipos de clientes. Dessa forma, o entregador segue o processo de entrega sem perceber que tem em mãos cartões que poderiam ser tratados de forma diferenciada. O modelo que será proposto neste trabalho também deverá cobrir esse *gap* do processo de produção e entrega de cartões

3.3.5 Net Promoter Score

Apresentado ao mundo como ferramenta de mensuração da satisfação do cliente, no artigo da Harvard Business Review, de 2004, de título “*The One Number You Need to Grow*”, o *Net Promoter Score* (NPS) tornou-se uma métrica amplamente adotada por diversas empresas de diversos segmentos ao redor do mundo (REICHHELD, 2003).

Com efeito, a implementação da metodologia NPS apoia os gestores na consecução de estratégias direcionadas ao aumento do número de promotores e conseqüente redução no número de detratores, o que auxilia as empresas a, com o tempo, crescer mais rapidamente e de forma mais rentável que seus principais concorrentes (REICHHELD, 2003).

A estrutura conceitual do NPS está baseada numa pesquisa cuja questão é definida como “Qual a chance de você recomendar essa empresa para um amigo ou parente?”. A resposta deve ser dada numa escala de 10 pontos, onde 0 expressa uma baixa probabilidade de recomendação e 10 expressa uma alta probabilidade de recomendação. De uma maneira geral, a abordagem de pesquisas com base

em recomendação já era bastante similar à apresentada pela metodologia NPS. Entretanto, o grande diferencial do NPS está na forma como o indicador é construído (BORGES NETO, 2018).

Com base nas respostas dos clientes, as notas são agrupadas em 3 subgrupos, sendo: Detratores, com notas que vão de 0 a 6; Neutros, com notas entre 7 e 8; Promotores, com notas entre 9 e 10. A partir desses subgrupos o indicador é calculado subtraindo do percentual de Promotores o percentual de Detratores. Como o indicador representa uma nota, e não um percentual, o resultado da subtração deve ser multiplicado por 100 para chegar ao número final (REICHHELD, 2003).

Aplicado como métrica de avaliação de satisfação nas interações de clientes com centrais de atendimento de diversas instituições, o NPS cumpre o papel de ser um direcionador da qualidade do relacionamento cliente-instituição nos distintos episódios da jornada de consumo (BORGES NETO, 2018).

Após a publicação da metodologia NPS e a sua subsequente aplicação por diversas empresas, Doorn, Leeflang e Tijds (2013) buscaram replicar os estudos que relacionam métricas como NPS e Satisfação, com variáveis financeiras, tais como receita de vendas, margem bruta e fluxo de caixa livre da operação. Os resultados encontrados revelam que todas as métricas apresentaram uma performance igualmente boa na previsão de margem bruta e receitas de vendas correntes e igualmente ruim na previsão de crescimento de vendas e margens, ressaltando também que o NPS não se apresentou inferior ou superior às demais métricas de satisfação avaliadas

Exemplo da aplicação dessa métrica, a empresa objeto deste estudo adotou a pesquisa NPS na suas centrais de atendimento e vêm acompanhando a satisfação dos clientes nas interações relacionadas aos episódios da jornada de consumo de alguns produtos (BORGES NETO, 2018).

Especificamente em relação à Logística de Cartões, a empresa objeto desse estudo iniciou a pesquisa NPS com seus clientes em Março de 2018 e desde então tem efetuado melhorias nos processos para que a experiência dos clientes na jornada de recebimento de cartão seja melhorada e, conseqüentemente, tanto a satisfação quanto a probabilidade dos clientes indicarem um cartão da empresa, tendem a aumentar.

Sendo assim, o NPS pode ser utilizado como medição dos resultados do modelo que será proposto neste trabalho.

Em resumo, a proposta desse trabalho é criar um modelo de priorização da entrega que considere não só o perfil do cliente mas também o perfil do produto e da região onde o cartão está sendo entregue e a expectativa com a aplicação do modelo é a diminuição da reclamação e da emissão sucessiva, aumento do desbloqueio e do NPS.

4 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Nesta seção será apresentado o modelo matemático para o problema de estudo bem os métodos de resolução e os resultados obtidos com a aplicação no problema real descrito.

4.1 PREMISSAS

A formulação matemática foi feita apenas para o entregador E2 pois o mesmo impacta um volume maior volume de cartões e a empresa objeto desse possui um poder de barganha maior com este entregador.

O modelo programou as entregas em D0, ou seja, priorizou o que deveria ser entregue hoje pelo entregador de forma a atender primeiro os casos que representam maior satisfação para os clientes.

Porém, para conseguir entregar em D0, um fator importante é que o cartão deve estar próximo ou no destino final de entrega. Caso contrário, não é possível operacionalizar a entrega no mesmo dia.

4.2 CÁLCULO AUXILIAR

Conforme citado na seção 3.3 existem muitos fatores que poderiam ser utilizados para definir prioridades entre os cartões a serem entregues. Sendo assim, o primeiro passo foi criar um cálculo auxiliar para definir uma pontuação para cada cartão. Quanto maior a pontuação, maior a importância daquele cartão e mais rápida deveria ser a entrega dele.

A pontuação de cada um dos critérios foi definida em comum acordo entre alguns pontos focais da Logística de Cartões, tais como a equipe responsável pela gestão dos fornecedores de entrega e também a equipe de Dados e *Analytics*, e pode ser representado da seguinte forma:

- Alta propensão de desbloqueio do produto+região: 10
- Cliente não possui outro cartão ativo da empresa: 10
- Reclamação no BACEN: 50 pontos
- Reclamação no PROCON: 40 pontos
- Reclamação na Ouvidora: 20 pontos
- Reclamação no SAC: 15 pontos
- Reclamação demais canais: 5 pontos
- Emissão Sucessiva: 25 pontos
- Cliente VIP com produto Varejo: 20
- Cliente Vulnerável: 30

- Cliente *Digital Influencer*: 35
- Cartão já está em atraso: 10

O segundo item da lista acima se relaciona com o desbloqueio pois se o cliente não possui outro produto da empresa objeto desse estudo, provavelmente poderá migrar para um cartão de empresa concorrente caso o cartão a ser pontuado não seja entregue de acordo com a expectativa do cliente.

Ao final, a pontuação total do cartão seria a soma de todas as pontuações no qual aquele cartão se encaixa, ou seja, se o cliente possui uma reclamação no BACEN e também se trata de uma emissão sucessiva, então a pontuação será 70 pontos.

O cálculo auxiliar também foi projetado de forma que o modelo matemático considerasse apenas os cartões que se encontram na localidade final de entrega e cartões que não tiveram via posterior emitida.

4.3 PROGRAMAÇÃO DA ENTREGA

Dado que o problema consistiu em priorizar as entregas dos cartões de maneira a melhorar a experiência dos clientes e que cada cartão possui uma pontuação previamente definida pelo cálculo auxiliar, então a função objetivo pôde ser definida como:

- Maximizar a quantidade de pontos entregues em D0

Dado o objetivo e as características do problema abordado, seria proposta uma formulação de Programação Linear Inteira, que teria aspectos de problemas de *scheduling*, mas devido as simplificações realizadas e ao desenvolvimento do cálculo auxiliar, tornou-se uma formulação de Programação Linear Inteira com aspectos do Problema da Mochila (*Knapsack Problem*).

O problema da mochila é uma das famosas tarefas da otimização combinatória. Neste problema, tem-se um conjunto A de n itens. Todo item i tem um lucro p_i e um tamanho s_i . Além disso, há uma capacidade c da mochila. A tarefa é escolher um subconjunto de A , de forma que o lucro total seja maximizado e o tamanho total desse subconjunto seja no máximo c (GURSKI; REHS; RETHMANN, 2019).

Neste caso, o lucro considerado na explicação de Gurski, Rehs e Rethmann (2019) seria a pontuação de cada cartão. Sendo assim, a formulação com aspectos de problema da mochila é apresentada na sequência.

Parâmetros considerados:

c_j : Capacidade diária na região j

p_i : Pontuação do cartão i

N : Quantidade de cartões pendentes de entrega com o entregador E2

Q : Quantidade de regiões

Também foi definida a seguinte variável de decisão:

$$x_i = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{se a entrega do cartão } i \text{ for programada para o dia zero} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{array} \right\}$$

As formulações do objetivo do problema, bem como suas restrições, são apresentadas a seguir:

$$\max \quad f_1 = \sum_{i=1}^N p_i x_i \quad (1)$$

$$\text{s.a.:} \quad \sum_{i=1}^N x_i \leq c_j \quad \forall j \quad (2)$$

$$x_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \quad (3)$$

sendo f_1 a soma da pontuação dos cartões entregues em D0.

A Equação 2 representa a Restrição 1 que garante que a capacidade de entrega por dia de cada localidade seja respeitada

A Equação 3 ou Restrição 2 garante que a variável de decisão x_i seja binária.

4.4 EXPERIMENTOS E RESULTADOS PRELIMINARES

Definido o modelo inicial para resolver o problema, foi possível realizar testes com amostras de dados reais a fim de entender se o modelo formulado atende a realidade. Em seguida, será descrito um dos testes realizados bem como os resultados encontrados.

Uma amostra com 20 cartões de 5 regiões diferentes foi selecionada e o cálculo auxiliar foi executado em SQL de modo a definir a pontuação dos 20 casos. A Tabela 2 mostra o resultado do cálculo auxiliar.

Tabela 2 – Pontuação da amostra de cartões

Cartão	Pontos
x ₁	60
x ₂	40
x ₃	25
x ₄	15
x ₅	20
x ₆	20
x ₇	30
x ₈	35
x ₉	10
x ₁₀	80
x ₁₁	50
x ₁₂	30
x ₁₃	45
x ₁₄	0
x ₁₅	50
x ₁₆	0
x ₁₇	35
x ₁₈	35
x ₁₉	10
x ₂₀	25

Fonte – Produzido pelo autor

A região de cada cartão bem como a informação sobre o cartão estar ou não (1 e 0, respectivamente) na localidade de entrega também foram definidos de acordo com a base de dados dos cartões pendentes de entrega de E2 e estão na Tabela 3. Lembrando que os cartões que não se encontram na localidade final de entrega já são retirados da base antes da aplicação da formulação de programação linear inteira uma vez que esses casos não possuem condições viáveis para serem entregues em D0. Já a capacidade de entrega diária de cada uma das localidades está na Tabela 4. Porém, foi feito um ajuste manual na capacidade pois dado que o modelo está sendo aplicado em uma amostra, eventualmente a capacidade de cada localidade seria muito superior a quantidade da amostra. Então, para testar o modelo a capacidade de cada região foi reduzida conforme a Tabela 4.

Tabela 3 – Localidade dos Cartões

Cartão	Localidade	Cartão está na localidade
x ₁	2	1
x ₂	4	1
x ₃	3	0
x ₄	5	0
x ₅	4	1
x ₆	2	0
x ₇	1	1
x ₈	3	1
x ₉	2	0
x ₁₀	2	1
x ₁₁	4	0
x ₁₂	1	0
x ₁₃	1	1
x ₁₄	1	0
x ₁₅	5	0
x ₁₆	2	1
x ₁₇	4	1
x ₁₈	4	0
x ₁₉	5	1
x ₂₀	1	1

Fonte – Produzido pelo autor

Tabela 4 – Capacidade de entrega diária

Localidade	Capacidade Diária
c ₁	1
c ₂	2
c ₃	1
c ₄	2
c ₅	1

Fonte – Produzido pelo autor

O modelo descrito com os parâmetros definidos foi estruturado no Microsoft Excel e solucionado com o *Solver* do próprio *software* dada a simplicidade do modelo inicial.

Selecionando o método de solução LP Simplex, o Excel retornou quais os cartões que deveriam ser entregues naquele mesmo dia. De acordo com o resultado, os cartões 1, 2, 8, 17, 19 e 20 deveriam ser entregues em D0. Este resultado atende todas as restrições retorna uma função objetivo igual a 205.

A amostra total somava 615 pontos. Logo, o modelo sugere a entrega de 33% dos pontos em D0.

Em seguida, outros dois testes com amostras de 100 e 200 registros reais foram realizados a fim de testar o modelo com o volume maior de dados. Assim como no primeiro teste com a amostra de 20 cartões, a quantidade de regiões foi igual a 5 localidades diferentes.

Desta vez, foi necessário utilizar o *OpenSolver* do Microsoft Excel devido a quantidade de restrições do problema.

Os testes foram satisfatórios e priorizaram as entregas do dia de modo a maximizar a quantidade de pontos dos cartões e respeitando todas as restrições definidas no problema real.

Os próximos passos, consistiram em implementar o modelo desenvolvido e testado na população total de cartões pendentes de entrega com o entregador E2 e acompanhar tanto a efetividade de entrega de E2 de acordo com o que foi proposto pelo modelo quanto os indicadores de desbloqueio, reclamação, emissão sucessiva e NPS, conforme comentado ao final da seção 3.3. Na próxima seção, será detalhada a implementação do modelo no problema. Além disso, serão demonstrados o resultados encontrados.

4.5 IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O primeiro passo para implementar o modelo foi definir qual seria o valor do parâmetro de capacidade de cada localidade. Para isso, o território no qual o entregador E2 tem abrangência de entrega foi dividida em 99 regiões, ou seja, o parâmetro Q é igual a 99, e a capacidade (c_j) de cada região foi calculada pela média da quantidade de entregas realizadas por dia nas últimas 4 semanas. A Tabela 5 mostra os valores definidos para o parâmetro de capacidade de entrega por região e somando os valores individuais tem-se que a capacidade total de entrega do entregador E2 é, em média, 70.480 cartões.

Os demais parâmetros se modificam a cada dia pois, todos os dias cartões são entregues e outros cartões são coletados nos fornecedores de fabricação, ou seja, todos os dias tem-se uma quantidade diferente de cartões pendentes (N) e cada cartão pendente de entrega tem uma pontuação p_i diferente.

Para aplicação do modelo desenvolvido no problema real a base de cartões pendentes de entrega foi extraída do sistema do entregador E2, ou seja, nessa extração já é possível definir o parâmetro N . Além disso, esta base também contém uma marcação que permite identificar se o cartão se encontra próximo à localidade de entrega de forma que o cálculo auxiliar pudesse desconsiderar os casos que não possuem viabilidade de entrega em D0.

Para verificar se o cartão possui uma via posterior emitida, foi incluído no cálculo auxiliar um cruzamento com a informações de emissão de cartão que permite verificar se o cliente realizou uma nova solicitação de cartão e desconsiderar tais casos antes da aplicação do modelo.

Por fim, o cálculo auxiliar descrito na seção 4.2 foi aplicado para definidas as pontuações de cada cartão pendente.

Definidos todos os parâmetros necessários, o modelo desenvolvido na seção 4.3 foi aplicado e a base com os cartões priorizados para entrega no dia foi disparada via *e-mail* para o fornecedor E2.

No primeiro dia de implementação do modelo, a base foi extraída do sistema do entregador E2 e a quantidade de cartões pendentes de entrega foi de 175.205 cartões. Porém nem todos eles têm condições operacionais de serem entregues no mesmo dia pois podem estar fisicamente longes de seus

destinos finais. Considerando apenas cartões possíveis de serem entregues em D0, a quantidade de cartões diminuiu para 156.985 e distribuição por região encontra-se na Tabela 6.

Comparando a Tabela 5 com a Tabela 6 nota-se que em muitas regiões a capacidade de entrega é menor do que a quantidade de cartões disponível para entrega o que torna o modelo de priorização ainda mais relevante para que os cartões de clientes mais atritados sejam entregues primeiro.

Pelo cálculo auxiliar foi verificado que 1.003 cartões já haviam via posterior solicitada e esses casos foram retirados da base.

O cálculo auxiliar também pontuou cada um dos cartões de acordo com o que foi definido na seção 4.2 e verificou-se que 70.814 cartões tiveram alguma pontuação. Os demais 104.391 ficaram com a pontuação zerada, ou seja, não fazem parte de nenhuma regra considerada priorizar um entrega. De maneira geral, são cartões pertencentes aos clientes que não têm histórico de reclamação e não pertencem a classe de clientes VIPs, Vulneráveis ou *Digital Influencer*, não são cartões Emissão Sucessiva e também não venceu o prazo acordado para entrega.

O modelo desenvolvido foi aplicado e o mesmo retornou quais cartões deveriam ser entregues em D0 e respeitando todas as restrições. O total de cartões priorizados para entrega em D0 foi de 61.852. De maneira geral foi priorizado um valor menor que a capacidade total do entregador E3 que foi calculada como sendo igual a 70.480. Porém quando a análise é realizada a nível de região, verifica-se situações em que a capacidade realmente foi uma restrição pois houve muito mais cartões com pontuação do que capacidade de entrega.

Nas regiões em que a quantidade de cartões com pontuação foi menor do que a capacidade, basicamente o modelo orientou o fornecedor a entregar os cartões com alguma pontuação. Mas nesses casos, pode-se dizer que sobrou capacidade para que o entregador escolhesse quias do outros cartões sem pontuação fossem entregues também em D0. A Tabela 7 mostra a distribuição da priorização da entrega por região.

Comparando Tabela 5 com a Tabela 6 com a Tabela 7 verifica-se algumas situações interessantes:

- A região 98 possui uma capacidade de entrega de 82 cartões por dia e na primeira implementação tinha 304 cartões pendentes. Mesmo assim, o modelo não priorizou nenhum cartão pra ser entregue. Isso significa que os cartões não tiveram pontuação.
- A mesma explicação da região 98 se aplica a região 62 que teve apenas 4,5% da capacidade priorizada.
- 56 regiões tiveram cartões priorizados para 100% da sua respectiva capacidade.
 - Foi possível priorizar 98,4% dos cartões pendentes na região 99 respeitando a restrição de capacidade
 - Das demais regiões, a que teve o maior percentual de priorização de cartões pendentes foi a região 1 que priorizou a entrega de 63,7% dos cartões

Tanto nos casos em que a capacidade foi realmente uma restrição/limitação quanto nos casos em que a capacidade não foi um restrição (havia menos cartões com pontuação do que a capacidade de entrega da região), pode-se destacar a importância da aplicação do modelo desenvolvido:

- Regiões com capacidade limitada: priorizar os clientes que possuem maior pontuação, ou seja, que maximizaram a função objetivo;
- Regiões cuja capacidade é maior do que a quantidade de cartões pontuados: garantir que os cartões com alguma pontuação sejam entregues respeitando as demais restrições

Após aplicação do modelo também verificou-se que a base de cartões pendentes total somou 819.635 pontos. O modelo priorizou a entrega de 716.725 pontos, ou seja, priorizou aproximadamente 87% dos pontos. A Tabela 8 mostra a quantidade de cartões priorizados por pontuação. Nota-se que mais de 45 mil possuem uma pontuação igual a 10 o que representa 73,5% dos cartões priorizados. Dado que três dos doze critérios de priorização pontuam com dez pontos, pode-se dizer que a maioria dos cartões priorizados pertencem a clientes com apenas um produto-cartão da empresa ou que são cartões com alta propensão de desbloqueio ou que são cartões em atraso ou ainda clientes que reclamaram duas vezes em canais diferentes de BACEN, PROCON, Ouvidoria e SAC.

Outro valor de pontuação que chama bastante atenção na Tabela 8 é a quantidade de cartões priorizados com 25 pontos o que indica que o critério "Emissão Sucessiva" é muito representante e, conforme citado na subseção 3.3.3 trata-se de um cliente que em pouco tempo solicitou mais de uma via de cartão e isso pode indicar um problema no recebimento do produto.

O modelo seguiu implantado e todos os dias úteis na madrugada, o processo era iniciado automaticamente de forma a rodar a extração da base no sistema do fornecedor, realizar os cálculos auxiliar, executar o modelo de priorização proposto e disparar um *e-mail* com a base de cartões priorizados para o fornecedor E2.

De forma geral, os dias subsequentes se comportam de forma parecida com o detalhado nesta seção, priorizando uma quantidade total de cartões inferior a capacidade total do fornecedor, mas uma quantidade de cartões superior a capacidade em algumas regiões.

Ao final de cada dia, o fornecedor E2 enviava outro *e-mail* com uma devolutiva informando de havia ou não conseguido realizar a entrega dos cartões priorizados. Nem todos os cartões tiveram a entrega realizada com sucesso, uma vez que outros problemas interferem no processo, como um cartão com um endereço para entrega inexistente ou errado, por exemplo. Sendo assim, aproximadamente 95% dos cartões tiveram efetividade na entrega.

Além disso, como em algumas regiões a quantidade de cartões priorizados foi inferior a capacidade de entrega, o entregador foi orientado a preencher as demais tentativas de entrega do dia da maneira que lhe fosse mais conveniente desde que os cartões priorizados pelo modelo fossem atendidos.

Após 2 semanas do modelo implantado, foram feitas algumas análises com o intuito de identificar as melhorias esperadas e que foram citadas ao final da seção 3.3

Neste período, houve a priorização de 675.838 cartões dos quais 642.030 foram entregues com sucesso para os clientes. Do total priorizado, aproximadamente 10 mil cartões são de clientes com histórico de reclamação. Após a entrega do cartão priorizado, apenas 2% deles entraram em contato com canais de atendimento internos e não houve reclamações em órgão reguladores como BACEN E PROCON.

Quanto a emissão sucessiva, dos cartões priorizados no período analisado, aproximadamente 65 mil deles, o que representa 10% da base, se tratavam de um emissão consecutiva do cliente. Com a

priorização e efetividade na entrega, esses clientes que estavam habituados a solicitar diversos cartões em um curto espaço de tempo finalmente foram atendidos.

O indicador de Emissão Sucessiva, que é acompanhado pela Logística da Cartões, possui uma média de 4% (ou seja, 4% dos clientes pedem um novo cartão em até 30 dias após a emissão do primeiro plástico). Foi verificado que, para o público que teve a entrega do cartão priorizado pelo modelo, o indicador de Emissão Sucessiva foi de 2%.

Já o desbloqueio que, assim como a emissão sucessiva, também foi considerado no cálculo auxiliar para pontuar os cartões, foi verificado que do total de cartões priorizados e entregues, 26,9% foram desbloqueados em até 7 dias. Esse percentual é considerado alto dado que o indicador geral de desbloqueio em até 7 dias acompanhado pela Logística de Cartões é de aproximadamente 17,1%. Isso indica que utilizar a propensão de desbloqueio por produto e região para priorizar as entregas realmente é efetivo pois os clientes que aguardam enciosamente pelo cartão tendem a receber primeiro, desbloquear e utilizar.

Por fim, também era esperado uma melhoria na pesquisa de NPS e essa melhoria foi confirmada pois os clientes o NPS dos clientes priorizados no período ficou em 81% enquanto que a pesquisa realizada anteriormente ao início da implementação do modelo estava em 76%.

Tabela 5 – Capacidade de entrega diária total

Localidade	Capacidade Diária	Localidade	Capacidade Diária
c ₁	831	c ₅₁	310
c ₂	1332	c ₅₂	457
c ₃	1564	c ₅₃	569
c ₄	2222	c ₅₄	765
c ₅	1333	c ₅₅	304
c ₆	1771	c ₅₆	309
c ₇	1152	c ₅₇	649
c ₈	1816	c ₅₈	952
c ₉	1628	c ₅₉	891
c ₁₀	78	c ₆₀	1165
c ₁₁	1049	c ₆₁	296
c ₁₂	1041	c ₆₂	378
c ₁₃	3132	c ₆₃	237
c ₁₄	1052	c ₆₄	378
c ₁₅	550	c ₆₅	734
c ₁₆	198	c ₆₆	811
c ₁₇	442	c ₆₇	201
c ₁₈	810	c ₆₈	161
c ₁₉	257	c ₆₉	833
c ₂₀	995	c ₇₀	258
c ₂₁	1372	c ₇₁	758
c ₂₂	1564	c ₇₂	1598
c ₂₃	1533	c ₇₃	281
c ₂₄	1501	c ₇₄	1649
c ₂₅	1501	c ₇₅	616
c ₂₆	1054	c ₇₆	396
c ₂₇	486	c ₇₇	121
c ₂₈	952	c ₇₈	486
c ₂₉	909	c ₇₉	351
c ₃₀	1046	c ₈₀	417
c ₃₁	579	c ₈₁	557
c ₃₂	515	c ₈₂	440
c ₃₃	262	c ₈₃	1105
c ₃₄	81	c ₈₄	204
c ₃₅	855	c ₈₅	330
c ₃₆	627	c ₈₆	831
c ₃₇	503	c ₈₇	384
c ₃₈	716	c ₈₈	763
c ₃₉	312	c ₈₉	450
c ₄₀	894	c ₉₀	499
c ₄₁	959	c ₉₁	568
c ₄₂	456	c ₉₂	360
c ₄₃	148	c ₉₃	482
c ₄₄	421	c ₉₄	566
c ₄₅	688	c ₉₅	436
c ₄₆	71	c ₉₆	307
c ₄₇	101	c ₉₇	170
c ₄₈	296	c ₉₈	82
c ₄₉	388	c ₉₉	120
c ₅₀	452		

Fonte – Produzido pelo autor

Tabela 6 – Distribuição cartões pendentes

Localidade	Quantidade	Localidade	Quantidade
1	1304	51	1035
2	2406	52	1202
3	2353	53	1759
4	2899	54	2348
5	2565	55	1004
6	3475	56	720
7	2693	57	2027
8	2631	58	3183
9	2814	59	2833
10	0	60	4663
11	1467	61	681
12	2234	62	221
13	7669	63	609
14	1511	64	1107
15	1077	65	1796
16	412	66	2376
17	824	67	273
18	2196	68	525
19	298	69	2725
20	2062	70	632
21	2462	71	1798
22	2817	72	4122
23	3265	73	665
24	1489	74	3824
25	2748	75	1538
26	2007	76	848
27	1198	77	324
28	1996	78	1385
29	2534	79	962
30	2190	80	727
31	1438	81	1208
32	1413	82	843
33	554	83	2121
34	159	84	484
35	1888	85	764
36	1500	86	1749
37	1165	87	1003
38	1472	88	1963
39	1018	89	912
40	2620	90	1014
41	2852	91	1565
42	1094	92	947
43	257	93	1539
44	1336	94	1437
45	1901	95	820
46	0	96	660
47	0	97	246
48	341	98	304
49	1455	99	122
50	1435		

Fonte – Produzido pelo autor

Tabela 7 – Priorização por região

Localidade	Quantidade	Localidade	Quantidade
1	831	51	310
2	1143	52	457
3	1117	53	569
4	1615	54	765
5	1333	55	304
6	1438	56	254
7	1152	57	649
8	929	58	873
9	1380	59	753
10	0	60	1165
11	495	61	191
12	1041	62	17
13	3132	63	130
14	453	64	319
15	431	65	562
16	120	66	811
17	259	67	101
18	810	68	35
19	100	69	742
20	995	70	258
21	1124	71	758
22	1564	72	1598
23	1533	73	281
24	641	74	1649
25	1501	75	616
26	901	76	396
27	486	77	121
28	894	78	419
29	909	79	274
30	1046	80	417
31	579	81	557
32	515	82	440
33	199	83	1105
34	81	84	204
35	708	85	330
36	627	86	831
37	503	87	384
38	517	88	724
39	312	89	336
40	894	90	499
41	959	91	568
42	456	92	360
43	77	93	482
44	421	94	566
45	688	95	322
46	0	96	195
47	0	97	71
48	125	98	0
49	388	99	120
50	452		

Fonte – Produzido pelo autor

Tabela 8 – Quantidade de cartões priorizados por pontuação

Quantidade de pontos	Quantidade de cartões
5	7444
10	45515
15	725
20	108
25	7211
35	71
40	25
45	11
50	129
55	4
60	9
65	2
75	6
80	1
85	1
100	3
110	1
120	2
130	1
150	3
160	2
250	1

Fonte – Produzido pelo autor

5 CONCLUSÕES

5.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E RESPOSTA À QUESTÃO DE PESQUISA

O problema real desse trabalho abordou a priorização da entrega de cartões de uma instituição bancária de modo a impactar positivamente na experiência dos clientes. Dessa forma, os problemas de *scheduling* descritos na literatura foram estudados com o intuito de embasar uma solução para o problema real citado, apesar das aplicações encontradas na teoria apresentarem poucas aplicações no setor no qual a empresa objeto desse estudo se enquadra. Além disso, durante o desenvolvimento do modelo foi verificado que o problema tinha, na verdade, aspectos de problemas da mochila.

Foi possível propor uma formulação de Programação Linear Inteira e utilizou-se um cálculo auxiliar. Como resultado, o modelo definiu quais cartões deveriam ser entregues no mesmo dia, respeitando as restrições de capacidade e atendendo as necessidades do problema.

O modelo foi testado, validado e implementado no problema real de forma a impactar na evolução do atendimento aos clientes quanto ao envio de cartões pois o resultado do modelo proporcionou identificar os clientes ofensores e priorizar suas entregas e também identificar clientes mais propensos a utilizarem o cartão, ou seja, que estavam com uma alta expectativa quanto ao recebimento, para que os mesmo também tivesse sua entrega priorizada. E, de maneira, geral, o modelo trouxe melhorias na experiência dos clientes.

5.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Esse trabalho se propôs a desenvolver um modelo de priorização da entrega de cartões de uma instituição financeira de forma a considerar o perfil dos clientes. Sendo assim, a principal contribuição é em relação ao problema real que foi estudado para que oportunidades de melhorias fossem levantadas. O modelo proposto resultou em melhorias nos indicadores acompanhados pela Logística de Cartões como o desbloqueio, a emissão sucessiva, a reclamação e o NPS.

5.3 SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DA PESQUISA

O modelo proposto foi aplicado apenas com um dos fornecedores de entrega (E2). Em uma oportunidade futura o modelo poderia ser estendido para os demais fornecedores de entrega da Logística de Cartões.

Um evolução também seria identificar outras características relacionadas ao perfil do cliente para incluir no cálculo auxiliar de forma que o modelo trabalhe sempre com o parâmetro de pontuação calibrado para atender os clientes da melhor forma e de acordo com suas expectativas.

Por fim, outra evolução seria utilizar *Data Envelopment Analysis* (DEA) para otimizar a seleção dos cartões a serem entregues.

REFERÊNCIAS

- AGRALI, S.; TASKIN, Z. C.; ÜNAL, A. T. Employee scheduling in service industries with flexible employee availability and demand. **Omega (United Kingdom)**, v. 66, p. 159 – 169, 2017.
- AKSOY, L. et al. Linking satisfaction to credit card decisions: an application of the wallet allocation rule. **International Journal of Bank Marketing**, v. 35, n. 2, p. 205 – 219, 2017.
- ALI, O.; CÔTe, J.-F.; COELHO, L. C. Models and algorithms for the delivery and installation routing problem. **European Journal of Operational Research**, v. 291, n. número da página, p. 162 – 177, 2021.
- ALVARENGA, G. B. **Um Algoritmo Híbrido para o Problema de Roteamento de Veículos Estático e Dinâmico com Janela de Tempo**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Manias Gerais - Brasil, 2005.
- AZADIAN, F.; MURAT, A.; CHINNAM, R. B. Integrated production and logistics planning: Contract manufacturing and choice of air/surface transportation. **European Journal of Operational Research**, v. 247, n. 1, p. 113 – 123, 2015.
- BARUS, M. D. B. et al. Routing and scheduling optimization model of sea transportation. **4th International Conference on Operational Research**, v. 300, 2018.
- BERTAGLIA, P. R. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. [S.l.]: Saraiva, 2016.
- BORGES NETO, A. N. **Impacto das interações de atendimento na retenção de clientes**. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Fundação Getúlio Vargas, 2018.
- BRYNJOLFSSON, E.; HU, Y. J.; RAHMAN, M. S. Competing in the age of omnichannel retailing. **Journal of Retailing**, v. 91, n. 2, p. 5 – 16, 2013.
- CHACON, F. **Números do setor de meios eletrônicos de pagamento**. 2017. Disponível em: <<https://www.abecs.org.br/>>.
- CHANG, Y. chia; LI, V. C.; CHIANG, C. ju. An ant colony optimization heuristic for an integrated production and distribution scheduling problem. **Engineering Optimization**, v. 46, n. 4, p. 503 – 520, 2013.
- CHEN, L. et al. Optimal pricing and sequencing in a make-to-order system with batch demand. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. 60, n. 6, p. 1455 – 1470, 2015.
- DANTZIG, G. B.; HAMSER, J. H. The truck dispatching problem. **Management Science**, v. 6, n. 1, p. 80 – 91, 1959.
- DIZARÓ Jr, P.; DIAS, M. D. C. **As consequências do aumento na utilização de cartões financeiros para a logística de serviços no setor bancário brasileiro**. 2012.
- DOORN, J. V.; LEEFLANG, P. S.; TIJS, M. Satisfaction as a predictor of future performance: A replication. **International Journal of Research in Marketing**, v. 30, n. 3, p. 314 – 318, 2013.
- DORMER, J.; GUNTHER, H. O.; GUJJULA, R. Master production scheduling and sequencing at mixed-model assembly lines in the automotive industry. **Flexible Services and Manufacturing Journal**, v. 27, n. 1, p. 1 – 29, 2013.

- DREXL, M. On the one-to-one pickup-and-delivery problem with time windows and trailers. **Central European Journal of Operations Research**, p. 1 – 48, 2020.
- DU, M.; KONG, N.; HU, X. A new heuristic scheduling method for the make-pack-route problem in make-to-order supply chains. **Information Systems and Operational Research**, v. 57, n. 2, p. 296 – 313, 2019.
- DUNBAR, M. et al. A genetic column generation algorithm for sustainable spare part delivery: application to the sydney droppoint network. **Annals of Operations Research**, v. 290, p. 923 – 941, 2020.
- FEBRABAN, F. B. de B. **Pesquisa FEBRABAN de Tecnologia Bancária 2015**. 2015. Disponível em: <https://fernandonogueiracosta.files.wordpress.com/2015/07/febraban-pesquisa-tecnologia-bancc3a1ria_2015.pdf>.
- FERRAES, N.; JUNIOR, M. K. **Logística Empresarial**. 2002.
- FINNOVATION. **Diferenças entre os bancos e as startups de fintech**. 2015. Disponível em: <<http://finnovation.com.br/diferencas-entre-os-bancos-e-as-startups-de-fintech/>>.
- FONSECA, A. J. et al. O impacto do sequenciamento da produção nos indicadores de produtividade e qualidade. **INOVAE - Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation**, v. 4, n. 2, p. 1 – 10, 2016.
- FRIÓSI, J. et al. Análise exploratória da inovação bancária brasileira e as tendências para o setor. **Revista Gestão Empresarial**, v. 1, n. 1, p. 47 – 57, 2017.
- FU, L.-L.; ALOULOU, M. A.; ARTIGUES, C. Integrated production and outbound distribution scheduling problems with job release dates and deadlines. **J Sched**, v. 21, p. 443 – 460, 2018.
- FUCHIGAMI, H. Y.; RANGEL, S. A survey of case studies in production scheduling: Analysis and perspectives. **Journal of Computational Science**, v. 25, p. 425 – 436, 2018.
- GHILAS, V. et al. Branch-and-price for the pickup and delivery problem with time windows and scheduled lines. **Transportation Science**, v. 52, n. 5, p. 1191 – 1210, 2018.
- GOODARZI, A. H.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R.; AMINI, A. A new bi-objective vehicle routing-scheduling problem with cross-docking: Mathematical model and algorithms. **Computers Industrial Engineering**, v. 149, 2020.
- GUIMARÃES, K. F. **Escalonamento Genético FJSP com tempo de configuração dependente de sequência**. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal de Uberlândia, 2017.
- GUO, Z. et al. A bi-level evolutionary optimization approach for integrated production and transportation scheduling. **Applied Soft Computing Journal**, v. 42, p. 215 – 228, 2016.
- GURSKI, F.; REHS, C.; RETHMANN, J. Knapsack problems: A parameterized point of view. **Theoretical Computer Science**, v. 775, p. 93–108, 2019.
- HAN, Y. qi et al. Metaheuristic algorithm for solving the multi-objective vehicle routing problem with time window and drones. **International Journal of Advanced Robotic Systems**, p. 1 – 14, 2020.
- HE, X.; DONG, S.; ZHAO, N. Research on rush order insertion rescheduling problem under hybrid flow shop based on nsga-iii. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 4, p. 1161 – 1177, 2020.

- HE, Z.; GUO, Z.; WANG, J. Integrated scheduling of production and distribution operations in a global mto supply chain. **Enterprise Information Systems**, v. 13, n. 4, p. 490 – 514, 2019.
- HERNADEZ-PEREZ, H.; SALAZAR-GONZALES, J. J. A branch-and-cut algorithm for the traveling salesman problem with pickup and delivery. **Discrete Applied Mathematics**, v. 145, n. 1, p. 126 – 139, 2004.
- HU, C. et al. Robust vehicle routing problem with hard time windows under demand and travel time uncertainty. **Computers and Operations Research**, v. 94, p. 139 – 153, 2018.
- ISHIKAWA, K. **What is Total Quality Control?** Nova Iorque - EUA: Prentice Hall, 1985.
- JIN, M.; LUO, Y.; D.EKSIOGLU, S. Integration of production sequencing and outbound logistics in the automotive industry. **International Journal of Production Economics**, v. 113, n. 2, p. 766 – 774, 2008.
- JULIANDRI, D.; MAWENGGANG, H.; BU'ULOLO, F. Discrete optimization model for vehicle routing problem with scheduling side constraints. **4th International Conference on Operational Research**, v. 300, n. 1, 2018.
- LEE, S. der; FU, Y. chen. Joint production and delivery lot sizing for a make-to-order producer – buyer supply chain with transportation cost. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 66, p. 23 – 35, 2017.
- LEUNG, J. Y.-T. **Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis**. [S.l.]: Chapman and Hall, 2004.
- LI, C. et al. A branch-and-price-and-cut algorithm for a pickup and delivery problem in retailing. **Omega**, v. 89, p. 71 – 91, 2019.
- LI, S.; LI, M. Integrated production and distribution scheduling problems related with fixed delivery departure dates and number of late orders. **Journal of Inequalities and Applications**, v. 2014, n. 7, p. 7 – 15, 2014.
- MAIOLO, L. M. A. **Algoritmo genético multiobjetivo com codificação em ponto flutuante aplicado a problemas de finanças e scheduling**. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — FCA, Universidade Estadual de Campinas, 2019.
- MARANDI, F.; GHOMI, S. F. Network configuration multi-factory scheduling with batch delivery: A learning-oriented simulated annealing approach. **Computers Industrial Engineering**, v. 132, p. 293 – 310, 2019.
- MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. [S.l.]: Elsevier Editora Ltda, 2018.
- MOHAMMADI, S.; HASHEM, S. M. A. e; REKIK, Y. An integrated production scheduling and delivery route planning with multi-purpose machines: A case study from a furniture manufacturing company. **International Journal of Production Economics**, v. 219, p. 347 – 359, 2020.
- MONKS, J. G. **Administração da Produção**. [S.l.]: Mcgraw Hill, 1987.
- MONTANÉ, F. A. T.; FERREIRA, V. J. M. F.; GALVÃO, R. D. Determinação de rotas para empresa de entrega expressa. **Pesquisa Operacional**, v. 17, p. 107 – 135, 1997.
- NGUYEN, P. K.; CRAINIC, T. G.; TOULOUSE, M. Multi-trip pickup and delivery problem with time windows and synchronization. **Ann Oper Res**, v. 253, p. 899 – 934, 2017.

- NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. [S.l.]: Campus, 2007.
- PARK, Y. B.; HONG, S. C. Integrated production and distribution planning for single-period inventory products. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 22, n. 5, p. 443 – 457, 2009.
- PINEDO, M. **Scheduling: Theory, Algorithms, and System**. [S.l.]: Springer, 2002.
- POZO, H. **Administração de recursos materiais e patrimoniais: uma abordagem logística**. [S.l.]: Atlas, 2007.
- PRASETYANINGSIH, E. et al. Production and delivery batch scheduling with multiple due dates to minimize total cost. **Journal of Engineering and Technological Sciences**, v. 49, n. 1, p. 16 – 36, 2017.
- REICHHELD, F. The one number you need to grow. **Harvard Business Review**, v. 81, n. 124, p. 46 – 54, 2003.
- SALOMÃO, K. **Dos quarenta e três maiores bancos do mundo, 3 são do Brasil**. 2016.
- SAMPAIO, A. et al. Delivery systems with crowd-sourced drivers: A pickup and delivery problem with transfers. **Networks**, v. 76, n. 2, p. 232 – 255, 2020.
- SANTOS, P. T. G. dos et al. Cargo routing and scheduling problem in deep-sea transportation: Case study from a fertilizer company. **Computers and Operations Research**, v. 119, 2020.
- SAVELSBERGH, M.; SOL, M. The general pickup and delivery problem. **Transportation Science**, v. 29, n. 1, p. 17 – 29, 1995.
- SHI, Y. et al. A lexicographic-based two-stage algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickup–delivery and time window. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 95, 2020.
- SILVA, A. R. da. **Um método de análise de cenários para sequenciamento da produção usando lógica nebulosa**. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal de São Carlos, 2005.
- SILVA, F. C. da; FREITAG, A. E. B. A logística como diferencial competitivo nas organizações varejistas. **Congresso Internacional de Logística e Operações do IFSP**, v. 6, 2020.
- TAGHIZADEHALVANDI, M.; OZTURK, Z. K. Multi-objective solution approaches for employee shift scheduling problems in service sectors. **International Journal of Engineering**, v. 32, n. 9, p. 1312 – 1319, 2019.
- TAKADA, Y. et al. Efficient algorithms for optimal pickup-point selection in the selective pickup and delivery problem with time-window constraints. **Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing**, v. 14, n. 5, p. 1 – 8, 2020.
- VIERGUTZ, C.; KNUST, S. Integrated production and distribution scheduling with lifespan constraints. **Annals of Operations Research**, v. 213, n. 1, p. 293 – 318, 2014.
- WANG, D. et al. Routing and scheduling for hybrid truck-drone collaborative parcel delivery with independent and truck-carried drones. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 6, n. 6, p. 483 – 495, 2019.
- WANG, G.; LEI, L. Integrated operations scheduling with delivery deadlines. **Computers and Industrial Engineering**, v. 85, p. 177 – 185, 2015.

- WANG, S. et al. Variable neighborhood search-based methods for integrated hybrid flow shop scheduling with distribution. **Soft Computing**, p. –, 2019.
- WANG, Y.; BI, M.; CHEN, Y. A scheduling strategy of mobile parcel lockers for the last mile delivery problem. **Promet – TrafficTransportation**, v. 32, n. 6, p. 875 – 885, 2020.
- WANG, Z. Delivering meals for multiple suppliers: Exclusive or sharing logistics service. **Transportation Research Part E**, v. 118, p. 496 – 512, 2018.
- YAMASHITA, D. et al. A multi-start heuristic for the ship routing and scheduling of an oil company. **Computers Industrial Engineering**, v. 136, p. 464 – 476, 2019.
- YIN, Y. et al. Two-agent single-machine scheduling to minimize the batch delivery cost. **COMPUTERS INDUSTRIAL ENGINEERING**, v. 92, p. 16 – 30, 2016.
- YUE, Q.; WAN, G. Order scheduling with controllable processing times, common due date and the processing deadline. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 26, n. 2, p. 199 – 218, 2017.
- ZHANG, J.; WANG, X.; WANG, X. On-line scheduling of order picking and delivery with multiple zones and limited vehicle capacity. **Omega**, v. 79, p. 104 – 115, 2018.
- ZHANG, J.; ZHANG, X.; ZHANG, Y. A study on online scheduling problem of integrated order picking and delivery with multizone vehicle routing method for online-to-offline supermarket. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2021, n. 9, 2021.