



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - UFOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS - ICEA
COLEGIADO DO CURSO DE DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - COEP
CAMPUS JOÃO MONLEVADÉ



Aluno: Felipe Mateus Novais Magalhães - *felipe.novais@aluno.ufop.edu.br*
Orientador: Diego Fernandes Pantuza Moura - *diego.moura@ufop.edu.br*
Coorientador: Thiago Augusto de Oliveira Silva - Doutor - *thiago@ufop.edu.br*

APLICAÇÃO DA META-HEURÍSTICA GRASP PARA A RESOLUÇÃO DE UM MODELO PARA ABASTECIMENTO CENTRALIZADO DE POSTOS DE TRABALHO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

João Monlevade, 2022

ALUNO: FELIPE MATEUS NOVAIS MAGALHÃES -

FELIPE.NOVAIS@ALUNO.UFOP.EDU.BR

ORIENTADOR: DIEGO FERNANDES PANTUZA MOURA -

DIEGO.MOURA@UFOP.EDU.BR

COORIENTADOR: THIAGO AUGUSTO DE OLIVEIRA SILVA - DOUTOR -

THIAGO@UFOP.EDU.BR

**APLICAÇÃO DA META-HEURÍSTICA GRASP PARA A RESOLUÇÃO
DE UM MODELO PARA ABASTECIMENTO CENTRALIZADO DE
POSTOS DE TRABALHO**

Orientador: Diego Fernandes Pantuza Moura, Mestre

Coorientador: Thiago Augusto de Oliveira Silva, Doutor

João Monlevade

Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas - ICEA – UFOP

2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M188a Magalhaes, Felipe Mateus Novais.

Aplicação da meta-heurística GRASP para a resolução de um modelo para abastecimento centralizado de postos de trabalho. [manuscrito] / Felipe Mateus Novais Magalhaes. - 2022.

38 f.: il.: color., tab..

Orientador: Me. Diego Fernandes Pantuza Moura.

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Augusto de Oliveira Silva.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Controle de produção. 2. GRASP (Sistema operacional de computador). 3. Logística. I. Moura, Diego Fernandes Pantuza. II. Silva, Thiago Augusto de Oliveira. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



FOLHA DE APROVAÇÃO

Felipe Mateus Novais Magalhães

Aplicação de uma meta-heurística para a resolução de um modelo para abastecimento centralizado de postos de trabalho

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção

Aprovada em 26 de outubro de 2022

Membros da banca

Dr. Thiago Augusto de Oliveira Silva - Coorientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dra. Mônica do Amaral - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Alexandre Xavier Martins - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Thiago Augusto de Oliveira Silva, coorientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 22/12/2022



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Augusto de Oliveira Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/12/2022, às 10:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0451367** e o código CRC **E0130CBD**.

RESUMO

O problema a ser tratado neste estudo se concentra no processo de logística interna de uma montadora de veículos automotivos. De forma mais específica, o estudo analisou um modelo de abastecimento das estações de trabalho de forma a minimizar os custos envolvidos com a manutenção de estoques ao lado das estações e também o custo de movimentação dos itens dentro da planta produtiva utilizando de heurísticas e meta-heurísticas, GRASP, com objetivo de comparar as soluções viáveis obtidas com as encontradas anteriormente na literatura, em termos de qualidade das soluções e de tempo de obtenção de soluções. Foi analisado as soluções obtidas e foi possível constatar que o método é viável e gera soluções para todas as instâncias.

Palavras-chaves: metaheurística. heurística. logística interna. planejamento e controle de produção(PCP).

ABSTRACT

The problem to be addressed in this study focuses on the internal logistics process of an automaker. More specifically, the study analyzed a model for supplying workstations in order to minimize the costs involved with maintaining inventories next to the stations and also the cost of moving items within the production plant using heuristics and meta-data. heuristics, GRASP, in order to compare the viable solutions obtained with those found previously in the literature, in terms of quality of solutions and time to obtain solutions. The solutions obtained were analyzed and it was possible to verify that the method is viable and generates solutions for all instances.

Key-words:metaheuristics. heuristic. internal logistics. production planning and control (PCP).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Movimentação de Abastecimento	11
Figura 2 – Classificação da pesquisa científica	14
Figura 3 – Funcionamento Geral GRASP	21
Figura 4 – Heurística PGA III	26
Figura 5 – Heurística de Construção	27
Figura 6 – Heurística de Construção	28
Figura 7 – Heurística de Construção	29
Figura 8 – Busca Local	30
Figura 9 – Meta-Heurística GRASP	31
Figura 10 – Comparativo percentual	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Estrutura do trabalho	12
1.2	Objetivos	12
1.2.1	<i>Objetivos Gerais</i>	12
1.2.2	<i>Objetivos secundários</i>	12
2	METODOLOGIA	14
3	REFERÊNCIAL TEÓRICO	17
3.1	Logística Interna	17
3.2	Planejamento e Controle da Produção	18
3.3	Heurísticas e Meta-heurísticas	19
3.4	Modelos Matemáticos Predecessores	21
3.4.1	<i>Modelo de Origem</i>	21
3.4.2	<i>Modelos Mendonça</i>	22
3.4.3	<i>Método de solução de Moura</i>	25
4	HEURÍSTICA PROPOSTA	27
5	RESULTADOS COMPUTACIONAIS	33
6	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

No começo do século 20, o fordismo, desenvolvido por Henry Ford, revolucionou a maneira como se produz por meio do método da produção em massa. Com a evolução dos métodos produtivos, inúmeros profissionais dessa área desenvolveram métodos para aplicação na gestão produtiva. Na década 60, surgiu o método da produção enxuta (*lean manufacturing*), que foi baseado em como se produzia na fábrica da Toyota. Esse método focava em realizar uma produção com o mínimo de desperdícios, e produzindo quando necessário com um estoque mínimo (FAÉ; RIBEIRO, 2005).

Com o passar dos anos, e a acentuada evolução tecnológica, os métodos de produção foram se desenvolvendo ainda mais, e passaram a utilizar métodos computacionais para melhorar a produção, interligar redes de empresa via internet (FAÉ; RIBEIRO, 2005).

O sistema de produção no qual o estudo será desenvolvido é de uma empresa montadora de automóveis. Atualmente, o seu sistema de produção opera com uma linha com ritmo automatizado por esteiras de montagem com algumas estações de trabalho. Cada veículo possui um tempo total de produção, e cada estação de trabalho requer um conjunto de peças do estoque para a linha operar. O estoque central é o responsável por abastecer todas as estações de trabalho do sistema produtivo (MOURA, 2018).

O problema tratado neste estudo foi concentrado no processo de logística interna da organização. De forma mais específica, o estudo analisou um modelo de abastecimento das estações de trabalho de forma a minimizar os custos envolvidos com a manutenção de estoques ao lado das estações e também o custo de movimentação dos itens dentro da planta produtiva.

Para auxiliar na tomada de decisão de distribuição dos insumos na planta produtiva, foi proposto um modelo matemático no estudo feito por de Souza, Carvalho e Brizon (2008). No modelo proposto pelos autores, o objetivo da modelagem é de determinar quantos itens serão enviados para as estações de trabalho e em qual tipo de embalagem será feita essa movimentação buscando a minimização dos custos de movimentação e de estoque lado linha de produção. Além disso, o modelo exige que a demanda de todos os períodos seja atendida, e garante que o limite de embalagens disponíveis para as movimentações não será excedido.

Em relação aos custos de estoque deve se saber quanto de material deve ter em estoque central e nos postos para manter o fluxo produtivo, quando as peças devem ser reabastecidas e quantas peças deve-se ter no estoque central. Pois excesso causara perda financeira devido ao material parado sem necessidade e não ter material em estoque pode parar alguma das linhas produtivas. Com o modelo matemático poderemos estimar as necessidades da unidade fabril minimizando os custos em estoque e ao mesmo tempo otimizando as entregas necessárias para o abastecimento dos postos de trabalho assim minimizando os custos de trabalho. (FONSECA et

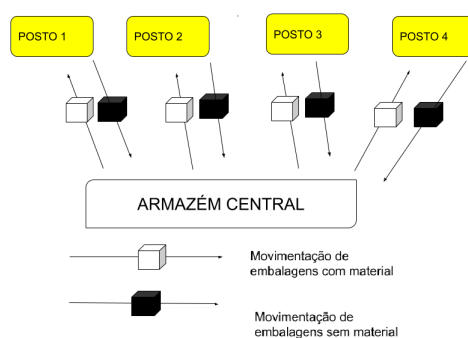
al., 2018)

Os objetivos envolvem minimização de custos logísticos internos, entre eles os custos com estoque e custos com movimentação dos itens. A minimização desses custos são importantes para a manutenção da competitividade da empresa, que possui um complexo sistema produtivo com uma considerável variedade de veículos.

Segundo de Souza, Carvalho e Brizon (2008) o processo produtivo de uma montadora de veículos estudado neste trabalho pode ser dividido em 5 principais fases, mecânica, prensas, oficina, pintura e montagem final, sendo que o último estágio possui 4 linhas de montagem independentes onde cada veículo é agrupado por suas características. O foco do trabalho será na última fase da montadora de veículos a montagem final, que possui 4 linhas com ritmo automatizado por esteiras onde foi estudado o abastecimento linha de produção deste estágio.

Na Figura 1, é demonstrada a relação do estoque com os postos de trabalho na montagem final dos veículos. Cada posto representa uma estação de trabalho que necessita ser reabastecida periodicamente com uma certa quantidade de itens. O abastecimento é feito pelas embalagens disponíveis que possuem capacidades diferentes para realizar as movimentações. Em cada período analisado, as embalagens são movimentadas cheias, entregam os itens na linha de produção, passam por um processo de higienização e retornam vazias para que possam ser utilizadas novamente. Estes movimentos envolvem o custo de movimentação dentro da planta produtiva. O armazém central é o responsável por manter as peças em estoque. O modelo trata parte do pressuposto que os itens estarão sempre disponíveis quando demandados pela linha de produção. Os custos de estocagem considerados na formulação envolvem apenas os estoques ao lado dos postos de trabalho, que são gerados quando a quantidade de itens movimentados excede a demanda de um determinado período (SOUZA; CARVALHO; BRIZON, 2008).

Figura 1 – Movimentação de Abastecimento



Fonte: adaptação (MOURA, 2018)

Para realizar o abastecimento dos postos de trabalho existem algumas restrições operaci-

onais, que segundo [Souza, Carvalho e Brizon \(2008\)](#), foram colocadas pela organização para evitar grandes distúrbios no processo por conta de alterações sucessivas na alocação dos itens. As restrições são que cada item será movimentado somente em um tipo de embalagem durante todos os períodos, as embalagens são sempre movimentadas com sua carga máxima e cada embalagem pode movimentar apenas um tipo de item.

Ao longo dos últimos anos, alguns estudos foram desenvolvidos tratando esse problema. Em de [Souza, Carvalho e Brizon \(2008\)](#), além da proposta original de modelagem para o problema, os autores propuseram a utilização da meta-heurística GRASP com objetivo de encontrar soluções viáveis para o problema em um tempo considerado curto. Em [Cunha e Souza \(2008\)](#) foram adicionadas desigualdades válidas para o modelo original, com o objetivo de encontrar melhores limites inferiores e superiores para o problema. [Mendonça \(2011\)](#) também utilizou da estratégia de realização de alguns testes de reformulação do modelo, e após isso aplicou a técnica de *local branching* objetivando encontrar melhores soluções para o problema. Por fim, [Moura \(2018\)](#) detectaram uma deficiência na formulação original que permitia usar mais embalagens do que havia disponível por período para cada solução. Foi utilizado de técnicas heurísticas para encontrar melhores soluções viáveis para o problema, e também aplicaram a técnica de decomposição *Dantzig-Wolfe* na busca por melhores limites inferiores para as instâncias tratadas.

Os dados que foram utilizados neste estudo são originados de uma indústria automobilística localizada no estado de Minas Gerais. Quando os dados foram coletados a produção média da organização era de 2300 automóveis/dia possuindo uma representatividade no mercado brasileiro de 25,3%. ([SOUZA; CARVALHO; BRIZON, 2008](#))

1.1 Estrutura do trabalho

O trabalho em questão será escrito no seguinte formato , capítulo 1 introdução, capítulo 2 metodologia, capítulo 3 referencial teórico, capítulo 4 resultados de pesquisa utilizada e a conclusão no capítulo 5.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

Objetivo utilizar o GRASP para tratar a variação do line feed problem proposto por [Moura \(2018\)](#).

1.2.2 Objetivos secundários

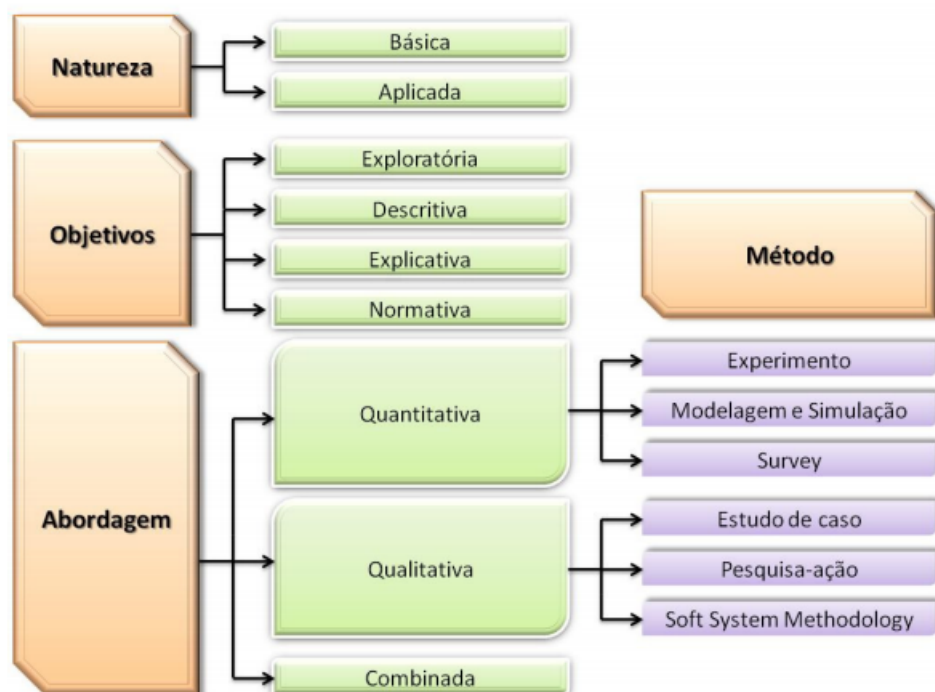
1. Revisão bibliográfica sobre o tema estudado;

2. Comparar as soluções viáveis obtidas com as encontradas anteriormente na literatura, em termos de qualidade das soluções e de tempo de obtenção;
3. Utilizar GRASP proposta por ([SOUZA; CARVALHO; BRIZON, 2008](#)).

2 METODOLOGIA

Dentro da literatura de [Turrioni e Mello \(2012\)](#) classificam trabalhos de pesquisa em três categorias: em relação a sua natureza, ao seu objetivo e quanto a sua forma de abordar o problema, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Classificação da pesquisa científica



Fonte:([TURRIONI; MELLO, 2012](#), p.80)

Um pesquisa quanto a sua natureza pode ser classificada em básica ou aplicada. Segundo [Oliveira \(2011\)](#) a pesquisa aplicada busca pela prática, ou seja, tem o interesse em aplicar ou utilizar os conhecimentos ou resultados em problemas que acontecem na realidade. O trabalho em questão tem uma natureza voltada para a pesquisa aplicada.

Quanto ao objetivo podemos separar em 4 tipos, exploratória, descritiva, explicativa, normativa e os 4 tipos, e que segundo [Turrioni e Mello \(2012\)](#) podem ser descritas das seguinte maneira:

- A pesquisa exploratória procura tornar o problema mais explícito ou mesmo construir hipóteses, podendo envolver revisão bibliográfica, entrevistas físicas com pessoas com experiência na área pesquisada.

- A pesquisa descritiva procura estabelecer características de uma população, evento, relações entre variáveis. Utilizando de técnicas como questionário e observação metodizada.
- A pesquisa explicativa visa saber os fatores que influenciam em fenômenos que causam eles ou os modificam de alguma forma para que eles ocorram.
- A pesquisa normativa busca desenvolver políticas, estratégias, melhorar o que já existe na literatura, com a intenção de achar novas soluções ou definições para o problema, e também é possível comparar a nova estratégia com a anterior de um problema específico

O estudo em questão utilizou de uma pesquisa com objetivos normativo devido a ser um problema que já foi tratado em por outros como [Souza, Carvalho e Brizon \(2008\)](#) originalmente, [Mendonca \(2011\)](#) e [Moura \(2018\)](#), que utilizaram de diferentes estratégias para tratar o tema.

Segundo [Turrioni e Mello \(2012\)](#), uma pesquisa quanto a sua forma de abordar o problema pode ser classificada em quantitativa, qualitativa, e combinada.

A qualitativa analisa a dinâmica entre o mundo real e sujeito em análise, ou seja, busca compreender o comportamento do sujeito estudando suas particularidades e experiências, neste tipo de pesquisa os resultados são subjetivos, e não são contabilizados em números, e costuma ser utilizada para entender o comportamento de indivíduos, grupos, em algum contexto dentro organização, seja empresarial ou social ([OLIVEIRA, 2011](#)).

A abordagem quantitativa seria traduzir todas as informações obtidas referentes ao tema, sejam dados, opiniões, organizando em linguagem matemática e as analisando de forma técnica, ou seja, através de estatísticas, ou outros métodos quantitativos para tratamento dos dados. A pesquisa combinada atua utilizando os as duas abordagens simultaneamente, por completo ou algumas características de cada ([TURRIONI; MELLO, 2012](#)).

Neste estudo foi abordado de forma quantitativa a pesquisa, devido a ser uma pesquisa que trabalhou diretamente com os dados obtidos por [Souza, Carvalho e Brizon \(2008\)](#) oriundos de uma montadora de veículos, e objetiva a utilização da meta-heurística GRASP para a resolução do problema de estudo.

Segundo [Oliveira \(2011\)](#), o método de simulação e modelagem é empregado quando se tem a necessidade de fazer experimentos utilizando de um modelo de um sistema real, com intuito de determinar o que ocorrerá com o sistema modificado com as mudanças propostas. As meta-heurísticas encaixam na descrição acima devido a serem técnicas que irão propõem um tratamento dos dados com o objetivo de encontrar soluções viáveis para o problema tratado em um curto intervalo de tempo. Além disso, as meta-heurísticas possuem alguns parâmetros de entrada, que também foram testados de forma a se encontrar valores que gerem melhores resultados. O método foi implementado na linguagem Python e as instâncias consideradas foram as mesmas utilizadas no estudo de de [Souza, Carvalho e Brizon \(2008\)](#), sendo utilizado para realizar os teste no notebook Dell Inspiron 5458, processador Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU

@ 2.20GHz, 16GB RAM, placa de video NVIDIA GeForce 920M, e utilizado um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) o software PyCharm Community Edition 2020.3.1 x64, na linguagem Python.

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

O referencial teórico do presente estudo aborda os tópicos de logística interna, heurísticas e meta-heurísticas e planejamento e controle de produção, com intuito de revisar os conceitos importantes a serem utilizados na execução do trabalho.

3.1 Logística Interna

A logística interna de uma empresa necessita compreender todo o processo por trás organização, em que deve se considerar o fluxo de matérias-primas, dos materiais em processo, os produtos acabados e as informações pertinentes em cada processo e etapa. Visando atender as necessidades dos clientes em termos de quantidade e qualidade, e os fornecedores com informações sobre necessidades da organização para que as matérias-primas cheguem no tempo programado e na quantidade ideal, assim evitando excesso de estoques e consequentemente minimizando os custos com estocagem. Com um entendimento adequado do funcionamento interno é possível reduzir os custos estocagem, entretanto deve haver cuidado para não faltar insumos, pois dessa forma a produtividade da organização poderia ficar prejudicada (CASTRO, 2005).

A importância de saber como os custos da logística interna são alocados vem ganhando cada vez mais importância com o passar do tempo, principalmente por conta da alta competitividade no mercado cada vez mais globalizado. Com o aumento de concorrência, o nível de exigência dos clientes está cada vez maior, o que torna a necessidade pela eficiência na logística interna fundamental. Para que isso seja possível é essencial que as organizações tenham um controle e um planejamento dos seus custos com logística interna (VASCONCELLOS; MARINS; MUNIZ, 2008).

A área de atuação da Logística compreende desde o gerenciamento de materiais até a entrega do produto final ao local designado pelo cliente, sendo o elo entre o mercado e a atividade operacional. Neste cenário, segundo Borges (2003), as empresas procuram tornar suas cadeias logísticas mais ágeis e competitivas, agregando valor ao produto pela eliminação de atividades desnecessárias e implantando medidas de redução de custos. (VASCONCELLOS; MARINS; MUNIZ, 2008, p.325)

Para que a logística interna seja bem executada é necessário um planejamento adequado de fornecimento entre o estoque central e os postos de trabalho em que cada posto de trabalho deve ser abastecido periodicamente, sem que haja excesso de peças nas estações de trabalho, para minimizar os custos com estocagem e tornar mais dinâmico o processo dentro da fábrica (??).

A logística interna consegue definir quantos insumos são necessários para o abastecimento interno da unidade fabril, para não haver recursos em excesso ou a falta de insumos, melhorando a utilização dos recursos financeiros da organização. Uma das formas de se ter um maior controle do fluxo dos insumos dentro da organização é utilizar ferramentas de sistemas de informação, como por exemplo a Identificação por radiofrequência (RFID). No RFID, cada embalagem possui um código com as informações do conteúdo, quantidade peças, horário de abastecimento, esses dados alimentam um sistema de controle, que pode permitir um melhor balanceamento do fluxo produtivo, evitando interrupções por falta ou excesso de insumos (SANTOS, 2019).

3.2 Planejamento e Controle da Produção

O planejamento e controle da produção (PCP) pode ser definido como um sistema de apoio à produção, que auxilia a coordenação do processo produtivo, com objetivo de realizar o planejamento e a ordenação de processos dentro da indústria de modo eficaz. O intuito do PCP é de satisfazer as necessidades de tempo de produção e quantidades produzidas, com a qualidade sendo uma prioridade (DUTRA; ERDMANN, 2007).

Na indústria, o planejamento e controle de produção serve para planejar a produção e controlar as entradas e saídas, seja de insumos, informações ou de pessoal. Com o aumento da competitividade e com os clientes cada vez mais exigentes, o conceito de PCP vem ganhando cada vez mais relevância, pois é fundamental ter uma boa qualidade nos produtos, sem deixar com que isso aumente consideravelmente os custos. Um fator crucial para o bom funcionamento do PCP é se ter uma boa comunicação com os fornecedores, pois dessa forma se é possível controlar melhor os estoques da organização e consequentemente melhorar o seu desempenho (CASTRO, 2005).

O PCP para ser usado corretamente é necessário uma execução de um conjunto de processos seja realizado antes de realizar produção e após a produção ser realizada. Depois de produzido, é necessário colher as informações do processo produtivo para realizar correções caso sejam detectados erros. Isso pode ser dividido em duas etapas principais, que são descritas no estudo desenvolvido por Dutra e Erdmann (2007):

observa-se que ele pode ser dividido em duas etapas principais: o planejamento da produção, composto de procedimentos que preparam e organizam as informações que permitem a programação e o controle da produção; e a programação e o controle da produção, que estabelece antecipadamente as atividades da produção em médio e curto prazo e realiza o acompanhamento da produção, colhendo informações para subsidiar correções de eventuais desvios da programação (DUTRA; ERDMANN, 2007, p.409).

A prática de planejar antecipadamente é uma característica do PCP, com intenção programar e controlar as atividades a serem realizadas, entretanto nem sempre o planejado ocorre da maneira prevista. Esse planejamento exige que se avalie as relações internas e externas da organização, o que é uma tarefa difícil de ser executada. Para lidar com isso, uma alternativa é desenvolver o melhor planejamento viável possível, e estabelecer uma margem de erro para a sua execução (CASTRO, 2005).

3.3 Heurísticas e Meta-heurísticas

Problemas de otimização podem ser utilizados para resolver os mais variados tipos de problemas, sejam eles na indústria ou não. Alguns exemplos são problemas para minimização do custo produtivo, maximização do lucro, minimização do tempo de produção, entre outros. Muitos desses problemas, principalmente quando tratam instâncias maiores, tem uma maior dificuldade de serem resolvidos de forma exata, e uma alternativa para lidar com essa situação é a utilização de heurísticas e meta-heurísticas.

As heurísticas de acordo com Cordenonsi (2008, p.31), são descritas como "um procedimento algoritmo desenvolvido através de um modelo cognitivo, que normalmente usam regras baseadas na experiência dos desenvolvedores". Os métodos heurísticos juntam estratégias, procedimentos e modelos aproximativos com o intuito de encontrar uma boa solução para o problema, considerando um tempo computacional moderado. Os métodos heurísticos podem ser divididos em três categorias: construtivas, melhoramento e meta-heurísticas.

Segundo Fonseca et al. (2018) as heurísticas tem como base a busca por um ponto ótimo local ou próximo a esse ponto. Em algumas aplicações, esse ponto ótimo local pode ser muito distante da solução ótima, e isso pode fazer com que o método perca sua eficiência, por conta dessa limitação de exploração do espaço de soluções. Para lidar com essa limitação existem as meta-heurísticas, que proporcionam a possibilidade de explorar um espaço maior de soluções.

Para Goldbarg (2016), os métodos meta-heurísticos podem ser vistos como um conjunto de conceitos heurísticos que podem ser aplicados em uma ampla gama de problemas. Esses métodos permitem explorar diferentes partes do espaço de soluções, o que na prática pode fazer com que se encontre boas soluções em um intervalo de tempo considerado satisfatório.

Uma meta-heurística é formalmente definida como um processo de geração de soluções candidatas iterativo que orienta uma heurística subordinada, combinando conceitos diferentes para intensificar e explorar o espaço de busca; As estratégias de aprendizagem são usadas para estruturar as informações, a fim de encontrar soluções eficientemente que sejam ótimas ou próximas às ótimas.(FONSECA et al., 2018, p.19)

As meta-heurísticas podem ser separadas em duas categorias: busca local e busca po-

pulacional. A busca local se baseia em buscar dentro de um espaço de soluções através de movimentos que são aplicados a cada etapa sobre a solução atual, explorando dessa forma soluções vizinhas em busca de melhores soluções para o problema tratado. Exemplos desse tipo de busca são Busca Tabu, Busca em Vizinhança Variável e GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* - Procedimento de busca adaptativa gulosa e randomizada) (SOUZA, 2008).

Nas metaheurísticas de busca local, a exploração do espaço de soluções é realizada através de operações chamadas de movimentos. Um movimento é uma modificação que transforma uma solução s em outra s_0 , que seja vizinha a ela. Esses métodos dependem necessariamente de alguma estratégia de variação da solução para escapar de ótimos locais.(COELHO, 2016, p.9)

As meta-heurísticas populacionais buscam juntar um conjunto de boas soluções e transformar estas em soluções melhores que as obtidas anteriormente. As metaheurística populacionais segundo Coelho (2016, p.10) , "mantêm a cada iteração um conjunto de soluções que são de alguma forma combinadas para gerar as soluções novas da próxima iteração. Nesse caso, a convergência prematura tende a ser evitada pela diversidade da população utilizada na busca", exemplos comum desse tipo são os Algoritmos Genéticos, os Algoritmos Meméticos e o Algoritmo Colônia de Formigas.(FONSECA et al., 2018)

Os algoritmos utilizados nas meta-heurísticas já existem em grande quantidade na literatura, como os citados em Cordenonsi (2008), possuindo modelos básicos de funcionamento e que necessitam apenas de algumas adaptações para serem utilizados nos mais variados tipos de problemas de otimização. Abaixo temos alguns exemplos de metaheurística com intuito de deixar claro o que são e suas peculiaridades.

A meta-heurística de busca local GRASP é um algoritmo já estabelecido e um dos mais aplicados, foi proposta por Feo e Resende (1995) , onde se tem um modelo básico dela e deve ser adaptado para o problema a ser resolvido. Souza, Carvalho e Brizon (2008) citam que o método pode ser dividido em duas fases: de construção e de busca local.

Na fase de construção, as soluções são construídas iterativamente elemento por elemento. A cada iteração desta fase, os elementos candidatos a serem soluções são incluídos em um conjunto C de candidatos, seguindo critérios de ordenação pré-estabelecidos. Após isso, se inicia a fase de busca local com o objetivo de fazer um refinamento na solução encontrada. Como o procedimento de construção da solução envolve uma certa aleatoriedade, a cada iteração novas soluções são obtidas e com isso se tem a possibilidade de explorar diferentes pontos no espaço de soluções com o objetivo de encontrar a melhor delas (SOUZA, 2008). A Figura 3 apresenta o pseudocódigo de funcionamento do método.

Figura 3 – Funcionamento Geral GRASP

Procedimento GRASP

1. **for** $i = 1, \dots, \text{Max_it}$ **do**
2. Obter uma solução s possível usando heurística aleatória gananciosa.
3. Obter uma solução s' aplicando uma pesquisa local para s .
4. Deixar s^* seja a melhor solução encontrada até agora.
5. **if** (s' é melhor que s^*) **do**
6. $s^* \leftarrow s'$
7. **return** s^*

Fonte: adaptado de (SOUZA; CARVALHO; BRIZON, 2008, p.484)

Dentro da classe de meta-heurísticas populacionais, um exemplo muito utilizado é a denominada colônia de formigas, que foi proposta por Dorigo, Maniezzo e Colorni (1996). O método se baseia no comportamento na movimentação das formigas ao se movimentarem de um ponto a outro, onde elas buscam encontrar o melhor caminho para realizar esse deslocamento. Na analogia do fenômeno natural com a otimização, as soluções são as formigas. De acordo com a sua qualidade, deixam uma certa quantidade de feromônios no caminho, que irá servir como um guia para as demais formigas. Espera-se que após a execução do método, as soluções (formigas) converjam para um mesmo caminho no qual a qualidade seja boa.

O método simula o comportamento de um conjunto de agentes (formigas) que se cooperam para resolver um problema de otimização. A cooperação entre as formigas se dá por meio do feromônio depositado por cada formiga ao se deslocar no espaço de busca, permitindo que esse rastro possa ser usado como informação por outras formigas. (SOUZA, 2008, p.43)

3.4 Modelos Matemáticos Predecessores

O trabalho em questão realizado possui predecessores que o fizeram de forma diferente como Souza, Carvalho e Brizon (2008), Moura (2018), Mendonca (2011).

3.4.1 Modelo de Origem

No modelo proposto por de Souza, Carvalho e Brizon (2008), os dados foram fornecidos por uma montadora de veículos automotivos, localizada em Minas Gerais na região próxima à Belo Horizonte. A meta-heurística GRASP foi utilizada, citada acima, visto que devido a

está equação $w_u^k = \frac{d_u \times r_{i_k}}{q_{i_k}}$ em que $i = 1, \dots, I$, representa o item, $k = 1, \dots, K$, está relacionado a qual embalagens está sendo utilizada, as variáveis d_u representam a demanda por hora, r_{i_k} significa o tempo médio para chegar à linha de produção, q_{i_k} quantidade fixa do item i que cabe na embalagem k , w_u^k , e por último está variável da a quantidade de embalagens a serem utilizadas na naquele período. Por causa dessa equação era permitido passar a quantidade de embalagens máximas disponíveis para cada período(t), $t = 1, \dots, T$, afetando o resultado final.

O modelo original proposto 3.1 utilizou a função objetivo $\min \sum_t^T \sum_i^I = (c_i \times s_{it} + \sum_k^K b_k \times f_{it}^k)$ em que c_i é o custo do item(i), s_{it} denota o estoque no período(t), b_k representa custo de movimentação da embalagem(k), a variável de decisão x_{ik} define qual item(i) será transportado na embalagem(k), por fim f_{it}^k representa a frequência de envio da embalagem(k) no período(t).

Modelo Original (3.1)

$$\min = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I (c_i s_{it} + \sum_{k=1}^K b_k f_{it}^k) \quad (3.2)$$

s.t.

$$s_{i(t-1)} - s_{it} + \sum_{k=1}^K q_{ik} f_{it}^k = d_{it}, \quad (3.3)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} = 1, i = 1, \dots, I. \quad (3.4)$$

$$Mx_{ik} - \sum_{t=1}^T f_{ik}^K \geq 0, i = 1, \dots, I, k = 1, \dots, K \quad (3.5)$$

$$\sum_{i=1}^I w_{it}^k \leq l_k, k = 1, \dots, K, t = 1, \dots, T \quad (3.6)$$

$$x_{ik} \in \{0, 1\}, s_{it}, f_{ik}^K \geq 0 \text{ and integer} \quad (3.7)$$

3.4.2 Modelos Mendonça

Um dos trabalhos que deram sequência a Souza, Carvalho e Brizon (2008) foi o de Mendonça (2011), em que ele propôs alguns modelos matemáticos com diferentes abordagens, sendo que as variáveis possuem a mesmo significado de cada variável do modelo abordado no sub tópico anterior, os modelos em questão são os seguintes.

$$\min = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K ((b_{kt} + (T - t + 1)c_i q_{ik}) f_{ikt}) \quad (3.8)$$

s.a

$$\sum_{t'=1}^t \sum_{k=1}^K q_{ik} f_{ikt'} \geq \sum_{t'=1}^t d_{it'}, \forall i, \forall t \quad (3.9)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} = 1, \forall i \quad (3.10)$$

$$\sum_{t=1}^T f_{ikt} - M x_{ik} \leq 0, \forall i, \forall k \quad (3.11)$$

$$\sum_{i=1}^I w_{ikt} x_{ik} \leq l_k, \forall i, \forall t \quad (3.12)$$

$$f_{ikt} \in N \in \forall i, \forall k, \forall t \quad (3.13)$$

Inicialmente [Mendonca \(2011\)](#) propôs o modelo com eliminação de variáveis de estoque 3.8, com objetivo de verificar o impacto da eliminação dessas variáveis na relaxação linear e na solução do problema, para realizar está eliminação foi proposto a substituição do parâmetro s por $\sum_{k=1}^K \sum_{t'=1}^t q_{ik} \times f_{ikt'} - \sum_{t'=1}^t d_{it}$ onde s_{it} é o estoque do item(i)no final do período t , x_{ik} seria a quantidade do item i produzida no período k , d_{ik} seria a demandado do item i no período k e com a constante M sendo igual a $M = \max \sum_{t=1}^T [d_{it}/q_{ik}] : i = 1, \dots, I$ que representa um valor calculado a cada instância de viagens da menor embalagem somando todos os períodos de um item função objetivo sofreu alterações devido às restrições de atendimento a demanda serem afetadas pelas variáveis de estoque.

$$\min = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K ((b_{kt} + (T - t + 1)c_i q_{ik}) f_{ikt}) \quad (3.14)$$

s.a

$$\sum_{t'=1}^t \sum_{k=1}^K q_{ik} f_{ikt'} \geq \sum_{t'=1}^t d_{it'}, \forall i, \forall t \quad (3.15)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} = 1, \forall i \quad (3.16)$$

$$\sum_{t=1}^T f_{ikt} - M_{ik1} x_{ik} \leq 0, \forall i, \forall k \quad (3.17)$$

$$f_{ikt} - M_{ikt}x_{ik} = 0, \forall i, \forall k, \forall t \quad (3.18)$$

$$\sum_{i=1}^I w_{ikt}x_{ik} \leq l_k, \forall i, \forall t \quad (3.19)$$

$$f_{ikt} \in N \in \forall i, \forall k, \forall t \quad (3.20)$$

Neste modelo de refinamento do cálculo do parâmetro [Mendonca \(2011\)](#) modificou a constante M para $M_{ikt} = [\sum_{t'}^T = d_{it'}/q_{ik}]$ e utilizando como referência modelo com eliminação de variáveis de estoque, [3.8](#), para obter o modelo [3.14](#) apresentado acima, que gerou uma modificação na terceira e quarta restrição do modelo matemático obtido anteriormente.

$$\min = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K ((b_{kt} + (T - t + 1)c_i q_{ik}) f_{ikt}) \quad (3.21)$$

s.a

$$\sum_{t'=1}^t \sum_{k=1}^K q_{ik} f_{ikt'} \geq \sum_{t'=1}^t d_{it'}, \forall i, \forall t \quad (3.22)$$

$$\sum_{k=1}^K z_{ikt} \leq 1, \forall i, \forall t \quad (3.23)$$

$$z_{ikt} = z_{ik(t-1)}, \forall i, \forall k, \forall t \in 2, \dots, T \quad (3.24)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} = 1, \forall i \quad (3.25)$$

$$\sum_{t=1}^T f_{ikt} - M_{ik1}x_{ik} \leq 0, \forall i, \forall k \quad (3.26)$$

$$f_{ikt} - M_{ikt}x_{ik} \leq 0, \forall i, \forall k, \forall t \quad (3.27)$$

$$\sum_{i=1}^I w_{ikt}x_{ik} \leq l_k, \forall i, \forall t \quad (3.28)$$

$$f_{ikt} \in N \in \forall i, \forall k, \forall t \quad (3.29)$$

Neste modelo no modelo de Variáveis de atribuição desagregadas por período [3.21](#) feito por [Mendonca \(2011\)](#) foram feitas as seguintes modificações, eliminação das variáveis de estoque, desagregação do limite de embalagens transportadas(M) por período e por último dissociação das variáveis x sendo substituída pela variável por período z .

Este modelo é derivado do modelo 3.1, a função objetivo é igual a ao modelo da 3.8, e o conjunto de restrições referentes a demanda são semelhantes a 3.8, as restrições 3.23 e 3.25 na imagem abaixo equivale a segunda restrição do modelo original, sendo a 3.23 está definindo apenas um tipo de embalagem pode ser utilizado no mesmo período por um item, e a 3.25 define que aquele item utilize a mesma embalagem em todos os períodos, a restrição 3.26 junto a 3.25 equivalem a terceira restrição do modelo original(3.1), realizando junção de variáveis de atribuição e quantidade transportada, além disso limita quantidade máxima de embalagens utilizada em qualquer período e item, e por fim as restrições 3.27 e 3.28 da equação (3.21), substitui a variável x pelo parâmetro por período z .

$$\min = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K b_k f_{ikt}^k \quad (3.30)$$

s.a.

$$s_{i(t-1)} - s_{it} + \sum_{k=1}^K q_{ik} f_{ikt}^k = d_{it}, \quad (3.31)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} = 1, \forall i \quad (3.32)$$

$$\sum_{t=1}^T f_{ikt} - M_{ikt} x_{ik} \leq 0, \forall i, \forall k, \forall t \quad (3.33)$$

$$f_{ikt} - M_{ikt} x_{ik} \leq 0, \forall i, \forall k, \forall t \quad (3.34)$$

$$\sum_{i=1}^I w_{ikt} x_{ik} \leq l_k, \forall k, \forall t \quad (3.35)$$

$$x_{ik} \in \{0, 1\}, \quad s_{it} \in R^+, \quad f_{ikt} \in N \quad (3.36)$$

Para verificar quem influencia mais os resultados obtidos no modelo 3.14 pelo parâmetro M ou pelo modelo 3.8 que seria com a eliminação das variáveis de estoque, foi formulado o modelo com parâmetro M refinado incluindo variáveis de estoque(3.30) contendo o parâmetro M , sem eliminar variáveis de estoque. O modelo acima foi obtido com a substituição da terceira restrição no modelo original(3.1 pelas restrições 3.32 e 3.33 no modelo acima 3.30.

3.4.3 Método de solução de Moura

Nos modelos propostos por Moura (2018) a mais importante na fase de construção é a heurística PGA III que aborda o problema gerando mais frequências de envio diferentemente das anteriores sendo elas heurística PGA I e PGA II, o motivo de propor a PGA III foi de ela

possibilitar varias frequências e com isso gerar soluções em casos de pouca disponibilidade de embalagens que pode o ocorrer na PGA II.

Os parâmetros utilizados no modelo de Moura (2018) foram parâmetro O foi criado com intuito de armazenar as alternativas criadas, a primeira frequência gerada (f_{ikt1} e gerada pelo algoritmo da mesma forma que a heurística PGA II e determinar o custo ω_{ik1} , o parâmetro α está em distribuição uniforme e varia entre 0 e 1, e a variável p_1 seria o custo de antecipar as entregas, realizando a comparação de α e caso menor ou igual a $1 - p_1$ para a viabilidade de antecipar a entrega e ter custear o estoque, caso contrario não ira antecipar a o envio, o modelo abaixo mostra a heurística PGA III(4).

Figura 4 – Heurística PGA III

```

1 início
2   Determina  $\bar{c}_{ikt}$ ,  $\bar{d}_{ikt}$ ,  $\Delta_{ikt}$  (análogo ao algoritmo 1);
3    $\Delta_{2_{ik0}} \leftarrow 0$ ;
4   para cada  $o \in O$  faça
5     se ( $o = 1$ ) então
6       para cada  $i \in I$  faça
7         para cada  $k \in K$  faça
8            $\phi_{iko} \leftarrow \phi_{ik}^{II}$  (análogo ao algoritmo 3);
9         fim
10      fim
11    senao
12      para cada  $i \in I$  faça
13        para cada  $k \in K$  faça
14           $\bar{i} \leftarrow 1$ ;
15           $\bar{f}_{ik1o} \leftarrow \bar{d}_{ik1}$ ;
16          para cada  $t = 2, \dots, |T|$  faça
17             $\alpha \leftarrow \text{Uniforme}(0,1)$ ;
18             $p_1 \leftarrow \frac{b_{k\bar{i}} + \sum_{u=\bar{i}}^{t-1} \bar{c}_{iku}}{b_{k\bar{i}} + \sum_{u=\bar{i}}^{t-1} \bar{c}_{iku} + b_{kt}}$ ;
19            se ( $\alpha \leq 1 - p_1$ ) então
20               $\bar{f}_{ik\bar{i}o} \leftarrow \bar{f}_{ik\bar{i}o} + \bar{d}_{ikt}$ ;
21            senao
22               $\bar{f}_{ikt o} \leftarrow \bar{d}_{ikt}$ ;
23             $\bar{i} \leftarrow t$ ;
24          fim
25        fim
26      fim
27      para cada  $t \in T$  faça
28         $\Delta_{2_{ikt o}} \leftarrow (q_{ik} \bar{f}_{ikt o}) - d_{it} + \Delta_{2_{ik(t-1)o}}$ ;
29      fim
30       $\phi_{iko} \leftarrow \sum_{t=1}^T (b_{kt} \bar{f}_{ikt o} + c_i \Delta_{2_{ikt o}})$ ;
31    fim
32  fim
33 fim
34 fim

```

Fonte:(MOURA, 2018)

4 HEURÍSTICA PROPOSTA

A heurística utilizada nesse trabalho na fase de construção de soluções foi baseada em Moura (2018) sendo a PGA III abordada no subtópico 3.4.3. Devido a ser uma boa estratégia de gerar frequências de envio(f_{ikto}) sendo i o item a ser enviado, k a embalagem a ser utilizada naquela frequência, t o período em que a frequência de envio sera utilizada e o o modo de gerado para aquele f_{ikt} , assim cada frequência possui vários modos de envio no mesmo período para cada embalagem e cada item, consequentemente o mesmo ocorre com os estoques s_{ikto} e a matriz de soluções($matrixhmodos_{iko}$) como demonstrado na imagem abaixo (5):

Figura 5 – Heurística de Construção

ALGORITMO 1 da fase de construção: código para cálculo de matriz-h-modos(i,k,o):
parte 1

```

inicio 1
  para cada  $o \in O$  faça,  $o = 1, \dots, O$  2
    se ( $o == 1$ ) 3
      para cada  $i \in I$  faça,  $i = 1, \dots, I$  4
        para cada  $k \in K$  faça,  $k = 1, \dots, K$  5
          para cada  $t \in T$  faça,  $t = 1, \dots, T$  6
            se ( $t == 1$ ) 7
               $fbar_{ikto} = d_{it}/q_{ik}$  8
               $sbar_{ikto} = -d_{it} + q_{ik} * fbar_{ikt1}$  9
            fim 10
            se ( $t > 1$ ) 11
               $fbar_{ikto} = (d_{it} - sbar_{ik(t-1)o})/q_{ik}$  12
               $sbar_{ikto} = sbar_{ik(t-1)o} - d_{it} + q_{ik} * fbar_{ikto}$  13
            fim 14
          fim 15
        fim 16
      fim 17

       $matrixhmodos_{iko} = \sum_{t=1}^T (sbar_{ikto} * ce_i + cm_{kt} * fbar_{ikto})$  18

    fim 19
  se ( $o > 1$ ) para cada  $o \in O$  faça,  $o = 1, \dots, O$  20
    para cada  $i \in I$  faça,  $i = 1, \dots, I$  21
      para cada  $k \in K$  faça,  $k = 1, \dots, K$  22
         $tb = 1$  23
         $fbar_{ik1o} = fbar_{ik11}$  24
        para cada  $t \in T$  faça,  $t = 1, \dots, T$  25
          se  $t == 1$  26
             $fbar_{ikto} = fbar_{ikt0}$  27
          fim
          se  $t > 1$  28
             $\beta = random.random(0, 1)$  29
             $custoe = 0$  30
             $aux2 = tb$  31

```

Fonte: baseado em (MOURA, 2018)

Figura 6 – Heurística de Construção

```

parte2

    enquanto  $aux2 < t$                                 32
         $custoe = custoe + cem_{ikaux2}$                 33
         $aux2 = aux2 + 1$                                 34
         $pss = (cm_{kt} + custoe) / (cm_{ktb} + custoe + cm_{kt})$  35
        se  $\beta \leq 1 - pss$                                 36
             $fbar_{ik(tb)1} = fbar_{ik(tb)1} + fbar_{ikt0}$     37
        senão                                            38
             $fbar_{ikt1} = fbar_{ikt1}$                     39
        fim                                             40
         $tb = t$                                           41
    se ( $t == 1$ )                                          42
         $sbar_{ikto} = -d_{it} + q_{ik} * fbar_{ikto}$         43
    senão                                              44
         $sbar_{ikto} = sbar_{ik(t-1)o} - d_{it} + q_{ik} * fbar_{ikto}$  45
    fim                                              46
fim                                              47
fim                                              48

 $matrixhmodo_{iko} = \sum_{t=1}^T (sbar_{ikto} * ce_i + cm_{kt} * fbar_{ikto})$  49

    fim                                              50
    fim                                              51
    fim                                              52
    fim                                              53
fim                                              54

```

Fonte: baseado em (MOURA, 2018)

Em que o podemos observar os parâmetros da demanda do item no período d_{it} dividido por q_{ik} obtemos a frequência inicial, visto que não possui estoque no primeiro período, nos períodos seguintes deve se considerar o $sbar_{ikto}$, quanto ao modo da frequência quando $o = 1$ ele é calculado baseado nas frequências obtidas no modos $o = 0$, as instâncias para gerar as possibilidades foram fornecidos por Souza, Carvalho e Brizon (2008), as frequências dos modos maiores que zero seguintes seguem alguns fatores de aleatoriedade como o parâmetro β que está distribuído aleatoriamente entre 0 e 1, é feito a comparação entre $\beta \leq (1 - pss)$, com $1 - pss$ sendo um fator em caso seja menor ou igual a β será antecipado a entrega de embalagens, o $custoe$ é o custo de estoque até o período calculado, somado a partir do cem que seria o custo de estoque modos, representado a multiplicação entre o custo de estoque de cada item ce_i com a quantidade que cabe de cada item(i) em cada embalagem(k) o q_{ik} e por último o $matrixhmodo_{iko}$ que é o somatório de todos os períodos para cada item em um tipo

de embalagem com os de cada um separado, sendo vital para a formulação da solução nos algoritmos seguintes.

Figura 7 – Heurística de Construção

ALGORITMO 2 da fase de construção: pseudocódigo para construção de resposta:

1 início

```

2   $J = \text{itens não alocados}$ 
3   $Li = \text{Limite de embalagens}$ 
4   $\text{custototal} = \text{vetor com valores LRC selecionados para solução}$ 
5   $LRC = \text{vetor contendo possíveis candidatos a solução}$ 
6   $h_{iko} = \text{vetor contendo}$ 
7  enquanto  $J_i \neq \emptyset$  faça
8      para cada  $i \in I$  faça,  $i = 1, \dots, I$ 
9          para cada  $k \in K$  faça,  $k = 1, \dots, K$ 
10              $LRC = h_{inf} \leq h_{iko} \leq h_{inf} + \alpha(h_{sup} + h_{inf})$ 
11              $Li = \text{verificar disponibilidade de embalagens para valor LRC}$ 
12         fim
13     fim
14      $\text{custototal} = \text{selecionar item aleatório do conjunto LRC}$ 
15      $Li = \text{atualiza conjunto Li com dados do item aleatório escolhido}$ 
16      $J = J - \{i\}$ , remove item alocado em custototal
17 fim
18 FIM

```

Fonte: baseado em (MOURA, 2018)

Neste Algoritmo(7), é onde se gera a primeira solução para ser avaliada pela GRASP, sendo que os possíveis candidatos foram gerados no algoritmo 1(5) que cria o $matrixhmodo_{iko}$. Servindo de base para criar as soluções com aleatoriedade desejada pelo algoritmo 2. A função do Algoritmo 2(7) tem critério para avaliar se a solução em avaliação do $matrixhmodo_{iko}$ é viável, e seriam o limite de embalagens(Li), que está definido no arquivo das instâncias e não pode ser alocado mais embalagens do que se tem disponível, e também deve se usar a mesma embalagem para o mesmo item em todos os períodos, sobre a condição de as embalagens podem movimentar somente cheias.

O algoritmo funciona de forma em que o LRC que seria o candidato do item (i) na embalagem k é selecionado aleatoriamente um modo daquela embalagem como candidato à solução, verifica-se se o candidato está dentro dos limites h_{inf} e do $h_{inf} + \alpha(h_{sup} + h_{inf})$, depois disso verifica-se se à embalagens disponíveis(Li) em comparação com $fbar_{ikto}$ e caso

ambas as condições sejam verdadeiras aquela possível solução para um item i na embalagem k é armazenada, tendo todos os candidatos i selecionados para todos os itens, chegamos ao $custototal$ em que se seleciona aleatoriamente um candidato LRC , após a seleção do candidato é atualizado o limite de embalagens(Li) removendo as embalagens utilizadas e retirando aquele candidato(i).

Figura 8 – Busca Local

ALGORITMO 3: Busca Local na Vizinhança

1 INÍCIO

```

2    $Li2_{kt}$  = limite de embalagem é igual as embalagens restantes do algoritmo 2
3   enquanto contador < 10 faça
4       para cada  $i \in I$  faça,  $i = 1, \dots, I$ 
5           para cada  $k \in K$  faça,  $k = 1, \dots, K$ 
6               para cada  $o \in O$  faça,  $O = 1, \dots, O$ 
7                    $Litemporario2$  = cópia completa de  $Li2_{kt}$ 
8                   se  $k \neq k$  contido nos dados da solução do algoritmo 2 ou da solução deste
9                       se  $matrixhmodo_{iko} < custototal_i$ 
10                           para cada  $t \in T$  faça,  $t = 1, \dots, T$ 
11                               se  $fbar_{ikto} \leq Li2_{kt}$ 
12                                    $Litemporario2 = Litemporario2 - fbar_{ikto}$ 
13                                   se  $t ==$  último período
14                                        $custototal2_i = matrixhmodo_{iko}$ 
15                                       atualiza  $Li2$ , devolvendo embalagens em  $custototal2$  ou  $custototal$ 
16                                       fim
17                                       senão  $custototal2 = custototal$ , limpa dados testados
18                                       fim
19                                       fim
20                                       se não copiar de  $custototal_i$  e dados referentes a período e frequências
21                                       fim
22                                       fim
23                                       fim
24                                       fim
25                                       fim
26                                   contador = contador + 1
27                                   fim
28 FIM
```

Fonte:elaborado pelo autor

A busca local(8), algoritmo 3, tem como objetivo localizar na vizinhança possíveis

melhores soluções para cada item(i), por exemplo em um item i de uma solução que foi selecionada no algoritmo 2(7) e selecionado uma embalagem k . A busca local neste trabalho procura nas outras embalagens k não selecionadas e em todos os seus modos. Dentro de uma embalagem k diferente da originalmente selecionada e será buscado uma possível solução com custo menor que foi selecionada no Algoritmo 2 ou mesmo no Algoritmo 3, sendo que é necessário ter embalagens disponíveis no limite de embalagem dois($Li2$) para realizar a substituição do valor obtido no $custototal$ e será armazenado no parâmetro $custototal2$, e atualizado $Li2$,

O limite de embalagens 2($Li2$), tem como início as embalagens restantes do Li , a partir dele são feitos os cálculos de disponibilidade e quando trocado o elemento utilizado, as embalagens usadas pelo item(i) da embalagem(k) selecionada pelo Algoritmo 2 serão devolvidas, visto as não estão sendo usadas mais, como a busca local devolve embalagens não utilizadas ela é realizada mais de uma vez com a intenção de procurar outros possíveis candidatos melhores do que ela mesma já selecionou e caso ache algum é feito o mesmo processo devolvendo as embalagens utilizadas pelo $custototal2$ e substituindo pelo candidato de menor custo e em todo esse processo também é atualizando constantemente o $Li2$ com as novas frequências de envio($fbar_{ikto}$). Caso não tenha embalagens disponíveis será utilizado o valor obtido na solução do algoritmo 2

A meta-heurística utilizada no presente trabalho foi a GRASP e está foi proposta por [Feo e Resende \(1995\)](#), que possui certa aleatoriedade o que possibilita gerar soluções diferentes a cada interação objetivando encontrar a melhor delas seja para maximizar ou minimizar, neste caso seria uma solução de minimização de custos de movimentação e estoque como mostra o algoritmo 4 abaixo na Figura 9

Figura 9 – Meta-Heurística GRASP

ALGORITMO 4: Metaheurística GRASP

```

1 INÍCIO
2   melhor solução = 999999999999999
3   para cada  $M \in MAXIT$  faça,  $M = 1, \dots, MAXIT$ 
4       solLRC = Executar função soluçãoLRC (algoritmo 2)
5       busca = Executar função buscalocal (algoritmo 3)
6       se solLRC < melhor solução e solLRC < busca
7           melhor solução = solLRC
8       senão se busca < melhor solução e busca < solLRC
9           melhor solução = busca
10      fim
11      imprimir(melhor solução)
12 FIM

```

O funcionamento da GRASP(9) neste caso é aparentemente simples, ela executa os dois algoritmos 2 e 3 para gerar as soluções e faz a comparação de ambas respostas para saber qual possui o menor valor, sendo a solução da GRASP naquela iteração, o parâmetro *MAXIT* representa quantas vezes sera feita essa iteração afim de explorar melhor o espaço de respostas e buscar uma melhor solução.

5 RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Nesta seção são apresentados os resultados computacionais feitos utilizando dos algoritmos formulados, e da meta-heurística GRASP e comparando com os resultados obtidos na literatura feitos por [Souza, Carvalho e Brizon \(2008\)](#), [Mendonça \(2011\)](#) e [Moura \(2018\)](#).

RESULTADOS	Soluções		Soluções	
Instâncias	UB I	Tempo de execução(s)	UB II	Tempo de execução(s)
btest191b111	492.600	0,69	690.766	792
btest191b112	450.974	0,03	674.147	903
btest191b113	426.784	0,11	636.647	815
btest191b121	525.863	1,54	685.943	427
btest191b122	511.300	0,39	512.259	543
btest191b123	521.973	0,09	535.316	553
btest191b211	529.530	0,83	546.302	526
btest191b212	477.804	0,14	626.545	654
btest191b213	452.575	0,11	479.919	539
btest191b221	577.671	2,65	648.988	750
btest191b222	549.571	0,38	658.551	603
btest191b223	558.924	0,16	671.332	601
test191 - 111	454.169	0,16	689.256	604
test191 - 112	470.503	0,27	632.003	560
test191 - 113	552.165	0,95	645.403	564
test191 - 121	468.459	0,14	492.623	580
test191 - 122	480.650	0,44	478.888	900
test191 - 123	548.680	6,86	527.860	592
test191 - 211	479.543	0,30	591.505	600
test191 - 212	494.377	0,28	552.716	523
test191 - 213	572.959	1,34	606.311	575
test191 - 221	505.225	0,35	647.364	728
test191 - 222	513.227	0,46	612.337	585
test191 - 223	581.695	3,14	572.455	516

Fonte: elaborado pelo autor

Para analisar os resultados obtidos foi elaborado uma tabela, em que nela contém os resultados computacionais obtidos por Moura (2018) (*UBI*) e os resultados gerados por este trabalho(*UBII*), sendo as 24 instâncias testadas, como demonstra a tabela em que quanto menor o valor melhor resultado.

Como podemos observar os resultados obtidos computacionalmente(*UBII*), se aproximam dos valores obtidos por seus antecessores, porém não superando em 21 de 24 instâncias as soluções obtidas anteriormente, a utilização da heurística PGA III, junto a GRASP, provou ser de eficiente para analisar grande parte do espaço de soluções, com suas inúmeras soluções geradas. Sendo um fato de os resultados dos predecessores gerados serem menores em sua maioria, pode demonstrar as boas solução em que os modelos anteriores chegaram e este nas 3 instâncias que chegaram a um resultado melhor mas com uma diferença percentual muito pequena,.

Figura 10 – Comparativo percentual

Instâncias	diferença de percentual das soluções geradas com as obtidos na literatura
btest191b111	140,23%
btest191b112	149,49%
btest191b113	149,17%
btest191b121	130,44%
btest191b122	100,19%
btest191b123	102,56%
btest191b211	103,17%
btest191b212	131,13%
btest191b213	106,04%
btest191b221	112,35%
btest191b222	119,83%
btest191b223	120,11%
test191 - 111	151,76%
test191 - 112	134,32%
test191 - 113	116,89%
test191 - 121	105,16%
test191 - 122	99,63%
test191 - 123	96,21%
test191 - 211	123,35%
test191 - 212	111,80%
test191 - 213	105,82%
test191 - 221	128,13%
test191 - 222	119,31%
test191 - 223	98,41%

Fonte: elaborado pelo autor

Os testes realizados foram utilizados de dez a trinta modos de franquência de envio geradas pelo algoritmo 2 e utilizando um α que varia de 0,5 até um, e máximo de iterações($MAXIT$) utilizada foi fixado em dez vezes, devido ao tempo de execução alto, a diferença entre a melhor solução obtida na literatura e nesse estudo esta demonstrada na Figura 10 acima, , sendo os cálculos para o percentual usaram a equação $percentual = UBII/UBI$, obtendo assim o quanto cada solução deste trabalho ($UBII$) é maior ou menor do que a solução da coluna UBI .

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi realizado o estudo de um problema de abastecimento de linhas de montagem com estoque central para abastecer os postos de trabalho, com objetivo de minimizar os custos de estoque e movimentação foi utilizado de múltiplas opções de frequências de envio a heurística PGA III para a construção de possíveis soluções, e para gerar as soluções foi utilizada a meta-heurística GRASP, foi necessário modificar o modelo original, (SOUZA; CARVALHO; BRIZON, 2008), devido a um pequeno problema citado anteriormente.

Através da comparação dos resultados obtidos no presente estudo com os resultados encontrados na literatura, podemos concluir que para os resultados obtidos em comparação com os anteriores foram obtidos resultados inferiores em 21 das 24 instâncias e houve melhora em 3 instâncias por percentual pequeno como foi observado.

REFERÊNCIAS

- CASTRO, R. L. d. *Planejamento e controle da produção e estoques: um survey com fornecedores da cadeia automobilística brasileira*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2005.
- COELHO, D. *Estruturas de Memória e Operadores Adaptativos em Meta-Heurísticas*. Tese (Doutorado) — Tese de Doutorado. UFMG-PPGEE, 2016.
- CORDENONSI, A. Z. Ambientes, objetos e dialogicidade: uma estratégia de ensino superior em heurísticas e metaheurísticas. 2008. 2008.
- CUNHA, A. S. da; SOUZA, M. C. de. Stronger upper and lower bounds for a hard batching problem to feed assembly lines. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 2008. Elsevier, v. 30, p. 159–164, 2008.
- DORIGO, M.; MANIEZZO, V.; COLORNI, A. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 1996. IEEE, v. 26, n. 1, p. 29–41, 1996.
- DUTRA, F. A. F.; ERDMANN, R. H. Análise do planejamento e controle da produção sob a ótica da teoria da complexidade. *Production*, 2007. SciELO Brasil, v. 17, n. 2, p. 407–419, 2007.
- FAÉ, C. S.; RIBEIRO, J. L. D. Um retrato da engenharia de produção no brasil. *Revista Gestão Industrial*, 2005. v. 1, n. 3, p. 24–33, 2005.
- FEO, T. A.; RESENDE, M. G. Greedy randomized adaptive search procedures. *Journal of global optimization*, 1995. Springer, v. 6, n. 2, p. 109–133, 1995.
- FONSECA, T. H. L. et al. Heurística para sintonização de metaheurísticas aplicada ao problema de flowshop permutacional. 2018. Universidade Federal do Maranhão, 2018.
- GOLDBARG, M. *Otimização Combinatória e Meta-Heurísticas: Algoritmos e Aplicações*. [S.l.: s.n.], 2016. ISBN 978-85-352-7813-2.
- MENDONÇA, A. A. A. Modelos e técnicas de local branching para o problema de abastecimento de linhas de montagem. 2011. Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.
- MOURA, D. F. P. Modelos e decomposição dantzig-wolfe no abastecimento centralizado de postos de trabalho. 2018. Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.
- OLIVEIRA, M. F. D. Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em administração. *Universidade Federal de Goiás. Catalão–GO*, 2011. 2011.
- SANTOS, R. M. Logística 4.0: Um estudo exploratório sobre as principais inovações tecnológicas aplicadas na logística das organizações. *XXXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 2019. oct 2019.
- SOUZA, M. C. de; CARVALHO, C. R. de; BRIZON, W. B. Packing items to feed assembly lines. *European Journal of Operational Research*, 2008. Elsevier, v. 184, n. 2, p. 480–489, 2008.

SOUZA, M. J. F. Inteligência computacional para otimização. *Notas de aula, Departamento de Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, disponível em <http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/InteligenciaComputacional/InteligenciaComputacional.pdf>*, 2008. 2008.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção. *Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá. Itajubá: UNIFEI*, 2012. 2012.

VASCONCELLOS, T. C. d.; MARINS, F. A. S.; MUNIZ, J. Implantação do método activity based costing na logística interna de uma empresa química. *Gestão & Produção*, 2008. SciELO Brasil, v. 15, n. 2, p. 323–335, 2008.